RETScreen® International
Centre d'aide à la décision sur les énergies propres
www.retscreen.net

Logiciel RETScreen®

Manuel de l'utilisateur en ligne

NASA

PNUE

GEF

Modèle pour projets de pompe à chaleur géothermique

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

Contexte

Ce document est la version imprimable du manuel de l'utilisateur en ligne du logiciel RETScreen®. Le manuel de l'utilisateur en ligne est un fichier d'aide intégré au logiciel. L'utilisateur télécharge automatiquement ces fichiers d'aide du manuel en ligne en téléchargeant le logiciel RETScreen.

Reproduction

Ce document peut être reproduit entièrement ou partiellement sous n'importe quelle forme, sans permission spéciale, pour des usages éducatifs ou sans but lucratif, si la reconnaissance de la source est faite. Ressources naturelles Canada apprécierait recevoir une copie des publications utilisant ce document comme source. Cependant, certains éléments se trouvant dans ce document appartiennent à d'autres organismes. Dans de tels cas, certaines restrictions sur la reproduction d'éléments graphiques ou de matériels peuvent s'appliquer; il peut être nécessaire d'obtenir la permission de l'auteur ou du détenteur de ces droits d'auteur avant la reproduction. Pour obtenir de l'information sur les restrictions applicables en cas de reproduction et la propriété des droits d'auteur, veuillez contacter RETScreen International.

Exonération

Cette publication, diffusée à des fins uniquement didactiques, ne reflète pas nécessairement le point de vue du gouvernement du Canada et ne constitue en aucune façon une approbation des produits commerciaux ou des personnes qui y sont mentionnées, quels qu'ils soient. De plus, le gouvernement du Canada, ses ministres, ses fonctionnaires et ses employés ou agents n'offrent aucune garantie et n'assument aucune responsabilité en relation avec cette publication.

ISBN : 0-662-74657-0
Catalogue no. : M39-118/2005F-PDF

© Ministre de Ressources naturelles Canada 1997-2005.

TABLE DES MATIÈRES

Brève description et organigramme 4

Modèle pour projets de pompe à chaleur géothermique 9

Modèle énergétique 10

Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation 26

Analyse des coûts 39

Sommaire financier 65

Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) 83

Analyse de sensibilité et de risque 95

Données de produits 104

Données météorologiques 105

Données de coûts 107

Formation et aide 108

Conditions d'utilisation 109

Bibliographie 111

Index 112

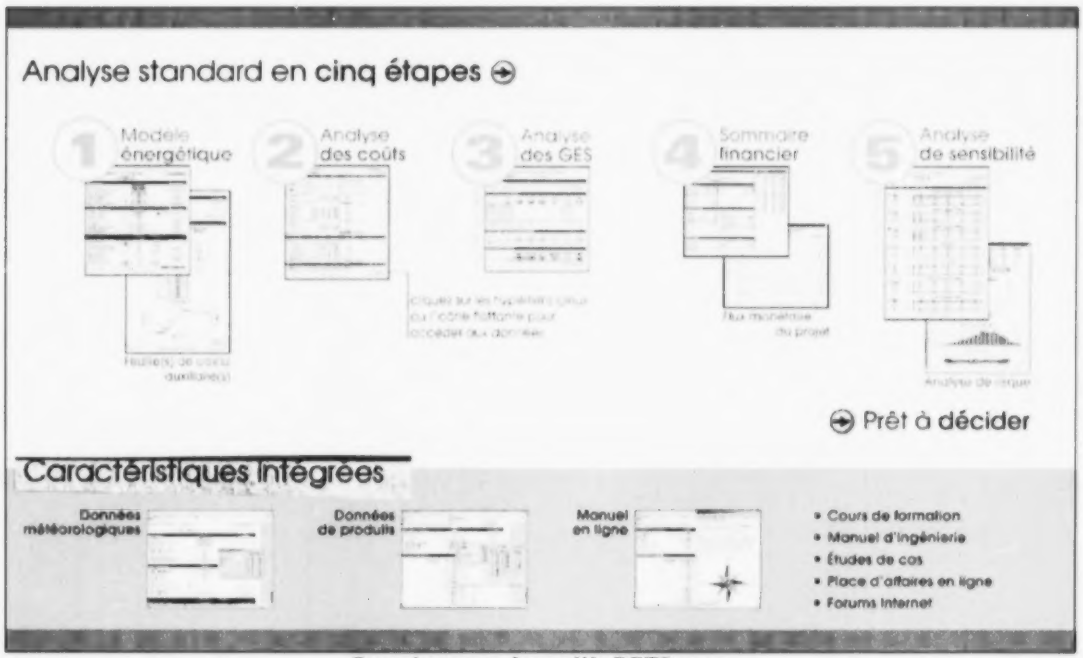
106-02410/

Brève description et organigramme

RETScreen® International est à la fois un outil de sensibilisation aux énergies propres, d'aide à la décision et de renforcement des compétences. L'outil consiste en un logiciel normalisé et intégré d'analyse de projets d'énergies propres qui peut être utilisé partout dans le monde pour évaluer la production énergétique, les coûts du cycle de vie et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre pour différentes technologies d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables (TÉR). Chaque modèle de technologie d'énergie propre RETScreen (p. ex. projet de pompe à chaleur géothermique, etc.) a été développé dans un classeur Microsoft® Excel individuel. Chaque classeur est ensuite composé d'une série de feuilles de calcul. Ces feuilles de calcul ont un aspect commun et suivent une démarche standardisée, commune à tous les modèles RETScreen. En plus du logiciel, l'outil comprend des bases de données (produits, coûts et données météorologiques), un manuel en ligne, un site Web, un manuel d'ingénierie, des études de cas et un cours de formation.

Organigramme

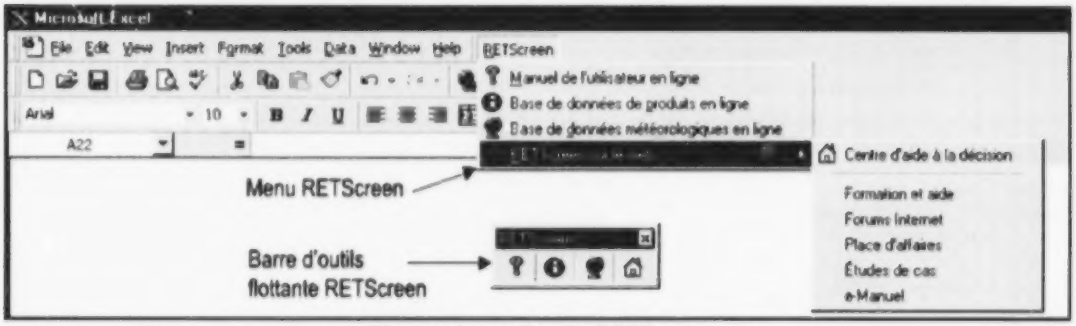
Compléter chaque feuille de calcul ligne par ligne de haut en bas en entrant des valeurs à l'intérieur des cellules de couleur. Pour se déplacer entre les feuilles de calcul, il suffit de cliquer sur les onglets du classeur au bas de l'écran ou de sélectionner les hyperliens (bleus et soulignés) se trouvant dans les feuilles de calcul. L'organigramme du modèle RETScreen est présenté ci-dessous.



Organigramme du modèle RETScreen

Accès aux données et à l'aide

L'utilisateur peut accéder au manuel en ligne, et aux bases de données de produits et météorologiques via l'option RETScreen se trouvant dans la barre de menu Excel (voir figure ci-après). Les icônes se trouvant sur la barre de menu RETScreen sont aussi disponibles via la barre d'outils flottante RETScreen. Ainsi, l'utilisateur peut accéder aux données et à l'aide en cliquant sur les icônes correspondant du menu ou de la barre d'outils flottante RETScreen. Par exemple, pour accéder au manuel en ligne, l'utilisateur peut cliquer sur l'icône « ? ».



Menu et barre d'outils RETScreen

Le manuel en ligne RETScreen, ou l'option d'aide, est sensible à la position du curseur de la souris et fournit par conséquent l'information associée à la cellule où le curseur se trouve.

Code de couleur des cellules

L'utilisateur doit entrer des données dans les cellules de couleur des feuilles de calcul. Les autres cellules qui ne requièrent pas d'entrée de données sont protégées pour éviter que l'utilisateur efface malencontreusement une formule ou une cellule contenant une référence. Le tableau des codes de couleur des cellules de données d'entrées et de sorties de RETScreen est présenté ci-dessous.

Cellules d'entrée et de sortie	
Blanche	Donnée de sortie - calculée par le modèle
Jaune	Donnée d'entrée - requise par le modèle
Bleue	Donnée d'entrée - requise par le modèle et base de données en ligne disponible
Grise	Donnée d'entrée - pour référence seulement. Non requise par le modèle

Code de couleur des cellules de RETScreen

Options monétaires

L'analyse d'un projet avec RETScreen peut se faire dans n'importe quelle monnaie choisie dans la cellule « Devise » de la feuille de calcul *Analyse des coûts*.

L'utilisateur sélectionne la devise. Ce choix se répercutera sur toutes les cellules où des coûts sont impliqués dans le projet d'analyse. Par exemple, si l'utilisateur choisit « $ », tous les champs d'ordre monétaire seront exprimés en $.

L'option « Définie par l'utilisateur » permet d'entrer manuellement un autre symbole monétaire dans une cellule voisine à la liste déroulante « Devise ». L'entrée est limitée à 3 caractères (p. ex. $US, £, ¥, etc.). Cette option offre aussi la possibilité d'utiliser des facteurs multiplicatifs qui aident la lecture des données financières de projets d'envergure (par exemple k $ permet d'éliminer un facteur 1 000 dans la présentation des coûts en $).

L'utilisateur peut également choisir « Aucune » pour n'utiliser aucune devise. Dans le cas des valeurs normalisées (p. ex. $/kWh), l'unité monétaire sera remplacée par un tiret (-/kWh).

En désignant un pays dans la liste déroulante, on obtient automatiquement le code de devise à trois lettres de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), par exemple AFA pour l'Afghanistan. Généralement, les deux premières lettres caractérisent le pays (AF pour Afghanistan) et la dernière la monnaie (A pour Afghani).

Dans certains projets (par exemple lorsque plusieurs équipements sont importés mais que le reste du projet est acheté localement), il peut être pratique d'utiliser deux monnaies différentes. Pour ce faire, l'utilisateur peut utiliser l'option « Deuxième devise » dans la liste déroulante de la cellule « Coûts de référence ». Bien noter que ces colonnes sont données à titre indicatif seulement et n'ont aucune incidence sur les calculs et l'analyse des autres feuilles de calcul RETScreen.

Nom de l'unité	Symbole de l'unité
ampère	A
année	année
année personne	année-p
calorie	cal
degré Celsius	°C
degré Fahrenheit	°F
dollar	$
gallon	gal
hectare	ha
hertz	Hz
heure	h
heure personne	h-p
horse-power	hp
joule	J
jour	j
jour personne	j-p
kilogramme	kg
kilomètre	km
kilowatt	kW
litre	L
livre	lb
livre par pouce carré	psi
mégawatt	MW
mètre	m
mille	mi
mille par heure	mi/h
million Btu	mmBtu
pascal	Pa
pied	pi
pied cube par minute	pi^3/min
pourcentage	%
seconde	s
semaine	semaine
tonne	t
verge	vg
volt	V
voyage personne	voyage-p
watt	W

Nom du préfixe	Symbole du préfixe
kilo	k
méga	M
giga	G

Liste des unités, des symboles et des préfixes

Certains symboles de devises peuvent être difficiles à lire à l'écran (p. ex. €); ce problème est causé par la valeur du zoom applicable à la feuille de calcul. L'utilisateur peut augmenter le zoom de façon à voir correctement ces symboles. Habituellement, les symboles sont bien lisibles à l'impression même s'ils n'apparaissent pas correctement à l'écran.

Unités, symboles et préfixes

Le tableau précédent présente la liste des unités, des symboles et des préfixes qui sont utilisés dans les modèles RETScreen.

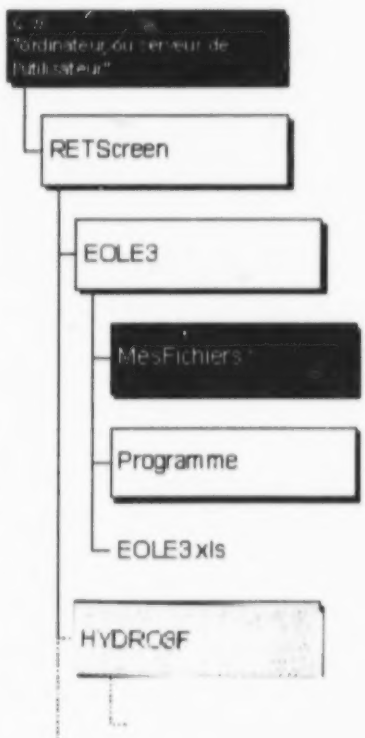
Note : 1. Le gallon (gal) utilisé dans RETScreen est le gallon américain et non le gallon impérial.

2. La tonne utilisée dans RETScreen est la tonne métrique.

Sauvegarder un fichier

Pour sauvegarder un classeur RETScreen, il faut utiliser la procédure normale de sauvegarde d'Excel. Les fichiers d'origine des modèles RETScreen ne peuvent pas être sauvegardés sous leur nom de distribution original. Cette procédure a été mise en place pour éviter que l'utilisateur n'écrase son fichier « maître ». Ainsi, l'utilisateur devra utiliser l'option « Fichier, Enregistrer sous ». L'utilisateur pourra donc, de cette façon, sauvegarder le fichier sur un disque dur, une disquette, un cédérom, etc. Toutefois, il est recommandé de sauvegarder les fichiers dans le répertoire « MesFichiers » qui a automatiquement été créé sur le disque dur par le programme d'installation de RETScreen.

La procédure de téléchargement est présentée dans la figure suivante. L'utilisateur peut aussi visiter le site Web de RETScreen à www.retscreen.net pour obtenir plus d'information sur la procédure de téléchargement. Il est important de noter que l'utilisateur ne doit pas changer les noms des répertoires et l'organisation des fichiers qui ont automatiquement été définis par le programme d'installation de RETScreen. De plus, l'utilisateur doit éviter de déplacer le fichier du programme principal de RETScreen, ainsi que les autres fichiers du répertoire « Programme », ce qui risquerait de causer une incapacité à accéder au manuel de l'utilisateur en ligne ou aux bases de données météorologiques et de produits RETScreen.



Procédure de téléchargement de RETScreen

Certains symboles de devises peuvent être difficiles à lire à l'écran (p. ex. €); ce problème est causé par la valeur du zoom applicable à la feuille de calcul. L'utilisateur peut augmenter le zoom de façon à voir correctement ces symboles. Habituellement, les symboles sont bien lisibles à l'impression même s'ils n'apparaissent pas correctement à l'écran.

Unités, symboles et préfixes

Le tableau précédent présente la liste des unités, des symboles et des préfixes qui sont utilisés dans les modèles RETScreen.

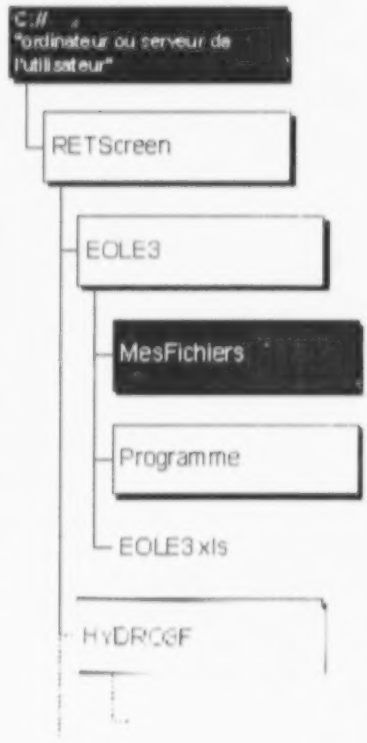
Note : 1. Le gallon (gal) utilisé dans RETScreen est le gallon américain et non le gallon impérial.

2. La tonne utilisée dans RETScreen est la tonne métrique.

Sauvegarder un fichier

Pour sauvegarder un classeur RETScreen, il faut utiliser la procédure normale de sauvegarde d'Excel. Les fichiers d'origine des modèles RETScreen ne peuvent pas être sauvegardés sous leur nom de distribution original. Cette procédure a été mise en place pour éviter que l'utilisateur n'écrase son fichier « maître ». Ainsi, l'utilisateur devra utiliser l'option « Fichier, Enregistrer sous ». L'utilisateur pourra donc, de cette façon, sauvegarder le fichier sur un disque dur, une disquette, un cédérom, etc. Toutefois, il est recommandé de sauvegarder les fichiers dans le répertoire « MesFichiers » qui a automatiquement été créé sur le disque dur par le programme d'installation de RETScreen.

La procédure de téléchargement est présentée dans la figure suivante. L'utilisateur peut aussi visiter le site Web de RETScreen à www.retscreen.net pour obtenir plus d'information sur la procédure de téléchargement. Il est important de noter que l'utilisateur ne doit pas changer les noms des répertoires et l'organisation des fichiers qui ont automatiquement été définis par le programme d'installation de RETScreen. De plus, l'utilisateur doit éviter de déplacer le fichier du programme principal de RETScreen, ainsi que les autres fichiers du répertoire « Programme », ce qui risquerait de causer une incapacité à accéder au manuel de l'utilisateur en ligne ou aux bases de données météorologiques et de produits RETScreen.



Procédure de téléchargement de RETScreen

Imprimer un fichier

Pour imprimer un classeur RETScreen, il faut utiliser la procédure normale d'impression d'Excel. Les feuilles de calcul des classeurs ont été configurées à un format d'impression de dimension lettre et une qualité d'impression de 600 dpi. Si l'imprimante utilisée a une différente définition de qualité d'impression, l'utilisateur doit alors sélectionner « Fichier, Mise en page, Page et Qualité d'impression » et choisir la qualité d'impression propre à cette imprimante. Cette procédure devrait éliminer les problèmes de qualité d'impression des feuilles de calcul.

Modèle pour projets de pompe à chaleur géothermique

Le modèle RETScreen® International pour projets de pompe à chaleur géothermique permet d'évaluer la production d'énergie, la viabilité financière et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) pour le chauffage et/ou le refroidissement de bâtiments résidentiel, commercial, institutionnel et industriel. Le modèle peut être utilisé pour évaluer autant des projets de rénovation ou de construction neuve utilisant des systèmes à boucles fermées (horizontale ou verticale) ou d'eau souterraine.

Le modèle RETScreen pour projets de pompes à chaleur géothermique contient six feuilles de calcul : *Modèle énergétique*, *Évaluation des besoins en chauffage et climatisation* (*Besoins thermiques*), *Analyse des coûts*, *Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre* (*Analyse des GES*), *Sommaire financier* et *Analyse de sensibilité et de risque* (*Sensibilité*).

Les feuilles de calcul sont remplies dans l'ordre suivant : *Modèle énergétique*, *Besoins thermiques*, *Analyse des coûts* et *Sommaire financier*. Les feuilles de calcul *Analyse des GES* et *Sensibilité* sont des analyses optionnelles. La feuille de calcul *Analyse des GES* est fournie pour aider l'utilisateur à évaluer l'atténuation potentielle de gaz à effet de serre engendrée par le projet proposé. La feuille de calcul *Sensibilité* est fournie pour aider l'utilisateur à évaluer la sensibilité de certains indicateurs financiers aux paramètres techniques et financiers importants du projet. En général, les feuilles de calcul sont remplies du haut en bas et le processus peut être répété aussi souvent que nécessaire pour optimiser la conception du projet au niveau des coûts et de l'utilisation de l'énergie.

En plus des feuilles de calcul nécessaires à l'exécution du modèle, une feuille de calcul *Introduction* et des *Feuilles de calcul vierges (3)* sont comprises dans le classeur du projet de pompe à chaleur géothermiques. La feuille de calcul *Introduction* donne à l'utilisateur un bref aperçu du modèle. Les *Feuilles de calcul vierges (3)*, quant à elles, permettent à l'utilisateur de préparer avec RETScreen une analyse de projet personnalisée. Par exemple, ces feuilles de calcul peuvent être utilisées pour entrer plus de détails sur le projet, pour préparer des graphiques et pour réaliser une analyse de sensibilité plus détaillée.

Modèle énergétique

Dans cette section du logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres, les feuilles de calcul *Modèle énergétique* et *Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation* aident l'utilisateur à calculer la production annuelle d'énergie d'un projet de pompe à chaleur géothermique, en fonction des caractéristiques du site et des paramètres du système. Le modèle présente les résultats en mégawatts-heure (MWh) pour faciliter la comparaison entre différentes technologies.

Caractéristiques du site

On décrit dans cette section de la feuille de calcul les caractéristiques d'un site qui peuvent avoir une influence sur la production annuelle d'énergie d'un projet de pompe à chaleur géothermique.

Nom du projet

L'utilisateur entre le nom à titre de référence seulement.

Pour plus d'information concernant l'utilisation du manuel en ligne, de la base de données de produits et de la base de données météorologiques RETScreen, voir la section « Accès aux données et à l'aide ».

Lieu du projet

L'utilisateur entre cette information pour référence seulement.

Surface de terrain disponible

L'utilisateur indique, en m², la surface de terrain disponible pour l'installation d'un système d'échange de chaleur dans le sol. Cette valeur est comparée à la « Surface typique nécessaire de terrain » donnée par le modèle, plus bas dans la feuille de calcul. Un message apparaîtra si le projet défini a besoin d'une plus grande surface de terrain que celle qui est disponible. L'utilisateur devrait alors ajuster les paramètres du système ou la configuration de l'échangeur dans le sol (par ex. configuration verticale plutôt qu'horizontale). Voir aussi le sujet « Surface typique nécessaire de terrain » plus loin dans la section.

Nature du sol

L'utilisateur indique la nature du sol qui prévaut sur le site envisagé. Les dimensions du système d'échange de chaleur avec le sol sont très affectées par la nature du sol. Un sol léger et sec, donc moins dense et ayant une plus faible conductivité thermique, nécessitera de plus grandes surfaces d'échange qu'un sol lourd et humide. Le tableau suivant donne les caractéristiques des 8 types de sol qui sont proposés dans la liste déroulante du modèle de pompe à chaleur géothermique

[ASHRAE, 1995]. Pour définir la nature d'un sol, il existe des procédures rapides, entre autres, la méthode de McRae [McRae, 1988].

Nature du sol	Conductivité W/(m°C)	Diffusitivité m^2/s	Densité kg/m^3	Chaleur spécifique C_p kJ/(kg°C)
Sol léger et humide (sable, vase)	0,9	$5,16 \times 10^{-7}$	1 600	1,05
Sol léger et sec (sable, vase)	0,3	$2,84 \times 10^{-7}$	1 400	0,84
Sol dense et humide (glaise, sable compacté, terre)	1,3	$6,45 \times 10^{-7}$	2 100	0,96
Sol dense et sec (glaise, sable compacté, terre)	0,9	$5,16 \times 10^{-7}$	2 000	0,84
Roche friable et tendre (calcaire)	2,4	$1,03 \times 10^{-6}$	2 800	0,84
Roche saine ou dure (granit)	3,5	$1,29 \times 10^{-6}$	3 200	0,84
Pergélisol léger	1,4	$1,10 \times 10^{-6}$	1 580	0,76
Pergélisol dense	2,0	$1,37 \times 10^{-6}$	2 070	0,69

Natures de sols utilisées dans le modèle de pompe à chaleur géothermique

Charge de calcul en chauffage

Il s'agit de la puissance thermique (kW) nécessaire au chauffage du bâtiment. Elle est calculée dans la feuille de calcul *Besoins thermiques* et automatiquement copiée dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Note : Arrivé à ce point, l'utilisateur doit compléter la feuille de calcul *Besoins thermiques* avant de poursuivre dans le *Modèle énergétique*.

Charge de calcul en climatisation

Il s'agit de la puissance thermique (kW) du bâtiment qui devra être absorbée par le système de climatisation. Elle est calculée dans la feuille de calcul *Besoins thermiques* et automatiquement copiée dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Paramètres du système

Les paramètres d'une installation de pompe à chaleur géothermique permettent d'estimer sa production annuelle d'énergie et d'établir la comparaison par rapport à un système de référence. Ces paramètres sont décrits dans quatre sous-sections différentes : système CVAC de référence, système d'échange géothermique, pompe à chaleur et chauffage d'appoint et puits de chaleur supplémentaire.

Système CVAC de référence

Cette sous-section permet à l'utilisateur du modèle de définir les performances saisonnières d'un système de chauffage, de ventilation et d'air climatisé (CVAC) de référence qui serait utilisé à la place du système de pompe à chaleur géothermique.

Bâtiment climatisé ?

L'utilisateur indique si le bâtiment est climatisé ou non à partir de la liste déroulante. La sélection choisie a une influence sur la méthode de calcul des économies d'énergie : on prendra en compte ou non une réduction ou une augmentation de la demande en climatisation. Si le bâtiment n'est pas climatisé, on ne calculera pas de réduction ou d'augmentation de la demande d'énergie et de la charge de pointe en climatisation, et par conséquent il n'y aura pas non plus d'influence financière sur la climatisation. Si le bâtiment est climatisé, les effets de la conception solaire passive sur la demande et sur les coûts de climatisation seront pris en compte.

La feuille de calcul sera modifiée selon la réponse de l'utilisateur. Des cellules d'entrées seront ajoutées si le bâtiment est climatisé.

Source d'énergie de chauffage

L'utilisateur sélectionne la source d'énergie qui serait utilisée pour assurer le chauffage du bâtiment par le système de chauffage de référence. Une liste des sources d'énergie les plus communes est disponible dans la liste déroulante. Cette sélection permet au modèle d'estimer la charge de pointe qui serait générée par le système de chauffage de référence. Si l'utilisateur sélectionne « Autre », le modèle suppose que la source d'énergie de chauffage du système de référence n'a pas d'impact sur la charge électrique. Le tableau ci-dessous indique le pouvoir calorifique de différents combustibles.

Énergie de chauffage évitée	Pouvoir calorifique
Gaz naturel	37,2 MJ/m³ (10,33 kWh/m³)
Propane	26,6 MJ/L (7,39 kWh/L)
Diesel (mazout #2)	38,7 MJ/L (10,74 kWh/L)
Mazout #6	40,5 MJ/L (11,25 kWh/L)
Électricité	1,0 kWh/kWh
Autre	1,0

Pouvoir calorifique de différents combustibles

Note : Le propane est exprimé en terme de propane liquéfié.

Rendement saisonnier du système de chauffage

L'utilisateur entre le rendement saisonnier (%) du système de chauffage de référence, et non le rendement instantané ou en pointe. Cette valeur inclut les effets de cyclage et les baisses de rendement lors d'opérations à charge partielle. Cette valeur est utilisée par le modèle pour

calculer les besoins en énergie primaire du bâtiment, pendant une saison complète de chauffage, en utilisant le système de chauffage de référence.

Des valeurs typiques de rendements saisonniers sont présentées dans le tableau pour différents systèmes de chauffage. Les valeurs présentées dans le tableau doivent être réduites de 10 % si les conduites d'air passent à l'extérieur de l'enveloppe isolée du bâtiment (p. ex. le grenier).

Type de système de chauffage	Rendement saisonnier typique (%)
Chaudière/fournaise avec flamme pilote	60 à 70
Chaudière/fournaise de rendement moyen avec allumage électronique	70 à 80
Chaudière/fournaise à haut rendement à condensation	80 à 90
Chauffage électrique	100
Système de pompe à chaleur sur air extérieur	130 à 200
Système de pompe à chaleur géothermique	300 à 350

Rendements saisonniers typiques de quelques systèmes de chauffage

COP saisonnier du climatiseur

Le coefficient de performance (COP) en climatisation saisonnier est une caractéristique propre au système de climatisation. Il représente, sur toute la saison de climatisation, le rapport entre l'énergie de refroidissement (frigorifique) produite (la chaleur extraite de la maison) et l'énergie primaire qui a été fournie au climatiseur. Le COP saisonnier est utilisé pour estimer la consommation électrique nette et la charge électrique de pointe pour rencontrer la demande d'énergie en climatisation du bâtiment en utilisant le système de climatisation de référence.

Les COP saisonniers typiques de quelques systèmes de climatisation sont donnés dans le tableau. Les valeurs présentées dans le tableau doivent être réduites de 10 % si les conduites d'air passent à l'extérieur de l'enveloppe isolée du bâtiment (p. ex. le grenier).

Type de système de climatisation	COP saisonnier typique
Climatiseur de fenêtre	2,4
Climatiseur à détente directe et pompe à chaleur à air extérieur (résidentiel)	3,0
Climatiseur à haut rendement (résidentiel)	3,5
Climatiseur commercial (haute capacité)	5
Pompe à chaleur géothermique	4,4

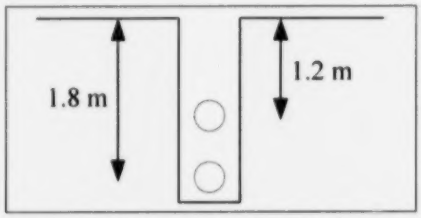
COP saisonniers typiques de quelques systèmes de climatisation

Système d'échange géothermique

Cette sous-section permet à l'utilisateur de définir le type de pompe à chaleur géothermique qui sera évalué par le modèle.

Type de système

L'utilisateur sélectionne le type de système à partir des options présentées dans la liste déroulante : « Boucle fermée verticale », « Boucle fermée horizontale » et « Eaux souterraines ». Le système à boucle fermée verticale est constitué d'une série de puits verticaux creusés dans le sol contenant chacun une boucle fermée en U enfilée jusqu'au fond du trou. Le système à boucle fermée horizontale est constitué d'un réseau à deux tuyaux superposés disposés à l'horizontale, à une profondeur de 1,2 et 1,8 m tel que montré à la figure ci-dessous.



Configuration d'échangeur horizontal à boucle fermée

Le type de système à eaux souterraines considéré par le modèle RETScreen est le système à boucle ouverte qui utilise directement les eaux souterraines par l'intermédiaire de puits d'extraction et de puits d'injection d'eau. Une variante de ce système peut aussi être modélisée par le modèle. Il s'agit d'un système de puits à colonne stationnaire en boucle ouverte sans puits d'injection d'eau (l'utilisateur corrige le coût de forage pour tenir compte de l'absence de puits d'injection).

La configuration en « Boucle fermée horizontale » est souvent la moins chère à mettre en œuvre mais nécessite de plus grandes surfaces de terrain. La configuration en boucle ouverte, qui utilise les « Eaux souterraines », nécessite de moins grandes surfaces de terrain et peut offrir de meilleures performances. Cependant, l'utilisation de la configuration en boucle ouverte peut être réglementée ou limitée par une insuffisance des ressources en eau.

Critère de conception

L'utilisateur sélectionne le critère de conception de la pompe à chaleur géothermique à partir des deux options présentées dans la liste déroulante : « Climatisation » et « Chauffage ». Cette sélection permet au modèle d'évaluer la taille de la boucle fermée (horizontale ou verticale), d'estimer le débit requis en eaux souterraines et de dimensionner la pompe à chaleur géothermique.

Cette sélection a donc non seulement une influence sur la taille de l'échangeur dans le sol et sur la capacité de la pompe à chaleur, mais aussi sur la puissance d'appoint en chauffage et la puissance de l'évacuateur de chaleur additionnel. Par exemple, certains bâtiments localisés dans des climats plus chauds ont des charges de climatisation qui dominent les charges de chauffage. La sélection d'un système de pompe à chaleur géothermique qui rencontre 100 % des charges de climatisation peut alors mener à un surdimensionnement au niveau de l'échangeur dans le sol en mode chauffage, et donc à un système non financièrement viable. Dans de telles situations, il est

souvent avantageux de dimensionner la pompe à chaleur pour assurer les charges de chauffage, et d'ajouter un puits de chaleur d'appoint (une tour de refroidissement) pour satisfaire toutes les charges de climatisation. Dans les climats plus froids où les charges de chauffage dominent, la situation peut être inversée. L'échangeur dans le sol est dimensionné pour rencontrer les charges de climatisation (échangeur plus petit), et un chauffage d'appoint est utilisé pour rencontrer les charges de chauffages qui sont plus importantes.

Le critère de sélection affectera directement le coût et la viabilité économique de chaque projet. L'utilisateur pourra donc vérifier l'impact des deux options dans son analyse de sensibilité.

Surface typique nécessaire de terrain

Le modèle calcule la surface (m^2) typique nécessaire de terrain en fonction du type de système d'échange avec le sol et du critère de conception qui ont été sélectionnés. La surface calculée par le modèle est comparée à la surface de terrain disponible entrée par l'utilisateur à la sous-section « Caractéristiques du site ». Si la surface de terrain disponible est moins grande que la surface typique nécessaire de terrain calculée par le modèle, le message suivant apparaît près de cette valeur : « Surface de terrain insuffisante » (en rouge). Si ce message apparaît, l'utilisateur peut changer de type de système d'échange avec le sol ou la configuration de l'échangeur souterrain pour que la surface calculée par le modèle soit égale ou inférieure à la surface disponible.

La surface typique requise par un système à eaux souterraines est basée sur un rayon de 6 m par puits et inclut la présence de puits d'injection. La surface typique requise par un système d'échangeur vertical en boucle fermée est basée sur des forages verticaux de 91 m de profond.

Typiquement, la surface de terrain requise peut varier de 50 à 95 m^2/kW pour un système d'échangeur horizontal et de 1,5 à 12 m^2/kW pour un système d'échangeur vertical.

Configuration de l'échangeur souterrain

L'utilisateur choisit une des trois options présentées dans la liste déroulante : « Standard », « Dense » et « Très dense ». Ce choix détermine la distance qui sépare chaque trou vertical dans le cas d'un système à échangeur vertical, et la distance entre chaque tranchée parallèle dans le cas d'un système à échangeur horizontal. Le tableau suivant présente ces distances typiques selon chaque configuration.

Type de configuration d'échangeur souterrain	Distance entre les forages verticaux m	Distance entre les tranchées m
Standard (tuyaux espacés)	6,1	3,7
Dense	3,7	2,4
Très dense	2,4	1,5

Distances entre les forages verticaux ou les tranchées

Plus la distance de séparation est faible, plus la surface nécessaire de terrain sera petite, mais plus longs devront être les tuyaux enfouis. En effet, les quantités d'énergie échangées avec le sol dans

des configurations d'échangeur « Dense » ou « Très dense » peuvent être affectées à long terme s'il y a un déséquilibre entre les charges en chauffage et les charges en climatisation (charges de chauffage plus grandes que charges de climatisation par exemple). Si ce déséquilibre est très important, les effets à long terme sur les performances d'un échangeur souterrain non standard (dense ou très dense) doivent être vérifiés.

Longueur totale de forage

Le modèle calcule la longueur (m) cumulée des trous verticaux nécessaire pour assurer soit la charge en chauffage, soit la charge en climatisation du bâtiment, selon l'option sélectionnée sous la rubrique « Critère de conception ». La longueur des trous verticaux dépend de plusieurs facteurs ; la température du sol, le type de sol, la charge de pointe et la demande d'énergie du bâtiment. Cette valeur est utilisée pour estimer la surface typique nécessaire de terrain basée sur une profondeur moyenne de trou de 91 m.

Typiquement, la longueur moyenne cumulée de trous verticaux est entre 10 à 25 m/kW.

Longueur totale de la boucle

Le modèle calcule la longueur (m) totale de la boucle fermée nécessaire pour rencontrer soit la charge en chauffage, soit la charge en climatisation du bâtiment, selon l'option sélectionnée sous la rubrique « Critère de conception ». La longueur de la boucle dépend de plusieurs facteurs ; la température du sol, le type de sol, la charge de pointe et la demande d'énergie du bâtiment, la distance qui sépare les tranchées (configuration de l'échangeur souterrain), etc. Cette valeur représente la longueur approximative totale de la tuyauterie qu'il faudra enfouir sous le sol.

Typiquement, la longueur totale de tuyauterie dans une configuration de boucle horizontale en paire de tuyaux est entre 40 à 65 m/kW.

Longueur totale de tranchée

La longueur totale cumulée de tranchée correspond simplement à la moitié de la longueur totale de la boucle puisque le système à échangeur horizontal est constitué de paires de tuyaux. Cette valeur est utilisée en combinaison avec la distance entre chaque tranchée pour déterminer la surface typique nécessaire de terrain.

Typiquement, la longueur totale de tranchée dans une configuration en paire de tuyaux est entre 20 à 33 m/kW.

Hauteur de pompage

L'utilisateur entre la hauteur (m) de pompage qui est égale à la distance verticale entre la pompe à chaleur et le niveau le plus bas que peut avoir l'eau dans les puits. Cette distance s'obtient en évaluant la hauteur statique de l'eau dans le puits (sans pompage), à laquelle s'ajoute la différence de hauteur provoquée par l'abaissement de cette surface lors du pompage des puits. Une hauteur

supplémentaire de 15 m est ajoutée par le modèle afin de tenir compte de la charge de refoulement générée dans le puits d'injection et des pertes de charge dans la tuyauterie. Cette valeur est requise pour estimer la puissance électrique des pompes de puits.

La hauteur de pompage peut beaucoup varier selon le site du projet. Des valeurs comprises entre 30 et 60 m sont communes. Une profondeur excessive du puits aura pour effet d'augmenter de façon significative la puissance requise au niveau de la pompe à eau. Le rendement (COP) de la pompe à chaleur géothermique sera donc réduit, risquant de compromettre la viabilité économique du projet.

Profondeur de forage

L'utilisateur entre la profondeur de forage (m) d'un puits typique qui sera fait sur le site du projet. Cette valeur sera utilisée pour estimer les coûts de forage pour tous les puits.

Typiquement, la profondeur de forage varie entre 50 à 250 m pour un puits à eaux souterraines en boucle ouverte, mais peut atteindre 500 m pour un puits à colonne stationnaire.

Débit d'eau maximum par puits

L'utilisateur entre le débit d'eau maximum (L/s) que peut fournir un puits typique pour le site du projet. Cette information est habituellement estimée à partir des forages d'inspection effectués sur le site. Elle peut aussi être estimée à partir d'information recueillie auprès de spécialistes du domaine qui connaissent le site. Cette valeur est utilisée pour déterminer le nombre requis de puits pour satisfaire les charges de pointes et la demande d'énergie en chauffage et en climatisation du bâtiment.

Typiquement, le débit maximum peut varier de 0,5 à plus de 60 L/s.

Débit nécessaire d'eau souterraine

Le modèle calcule le débit total d'eau souterraine (L/s) nécessaire pour assurer les charges de chauffage et de climatisation du bâtiment. Ce débit dépend de la température de l'eau souterraine et de l'efficacité de l'échangeur de chaleur de la boucle côté bâtiment. Pour déterminer le débit nécessaire, le modèle considère une différence de température maximale de 2,8 °C entre la boucle d'eau souterraine et la boucle du bâtiment à la sortie de l'échangeur (température d'approche).

Des valeurs typiques du débit nécessaire d'eau souterraine sont habituellement de l'ordre de 0,05 L/s par kW de capacité de climatisation du système de PAC.

Nombre nécessaire de puits d'extraction d'eau

Comme on connaît le débit nécessaire d'eau souterraine pour le fonctionnement de la pompe à chaleur et le débit d'eau maximum qu'un puits peut fournir, le modèle calcule le nombre de puits

nécessaire pour alimenter en eau la pompe à chaleur. On suppose qu'un nombre identique de puits d'injection sera nécessaire. Le nombre total de puits à forer sera donc le double de ce nombre (puits d'extraction plus puits d'injection).

Pompe à chaleur

Cette sous-section permet à l'utilisateur de déterminer quel sera le rendement moyen de la pompe à chaleur utilisée dans le système de pompe à chaleur géothermique.

Rendement moyen de la pompe à chaleur

L'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante quelle option caractérise le mieux le rendement moyen de la pompe à chaleur utilisée : « Standard », « Moyen », « Élevé » ou « Défini par l'utilisateur ». Des valeurs de COP de chauffage et de climatisation, associés à ces options sont indiquées dans les cellules ci-dessous.

Le choix de l'option sera basé sur les COP nominaux en régime permanent et non sur les rendements saisonniers. Les valeurs en régime permanent de COP en chauffage et en climatisation sont obtenues dans des conditions normalisées d'essais décrites dans la norme 446 de l'ACNOR/CSA (Association canadienne de normalisation) ou dans les normes 325 et 330 de l'Air-conditioning and Refrigeration Institute (ARI). Ces deux organisations tiennent à jour des listes de pompes à chaleur du marché qui ont été testées selon leurs standards. Le tableau donne une indication des valeurs de COP standards qui correspondent aux trois premières options de la liste déroulante. Les conditions normalisées d'essais sont indiquées pour la température intérieure et la température de caloporteur.

Option de rendement moyen de la PAC	COP chauffage Te=10°C (eau) Te=0°C (sol) Tintérieure=21°C	COP climatisation Te=21°C (eau) Te=25°C (sol) Tintérieure=27°C
Standard	2,8	3,5
Moyen	3,2	4,5
Élevé	4,0	5,5

(Te = température de caloporteur à l'entrée de la pompe à chaleur
(sol) caractérise les systèmes de PAC à échangeur dans le sol
(eau) les systèmes de PAC à eaux souterraines)

COP en conditions normalisées de chauffage et de climatisation correspondant aux différentes options de rendement moyen

Quand l'utilisateur sélectionne « Défini par l'utilisateur », il peut choisir un produit dans la base de données de produits RETScreen et y obtenir les valeurs de COP en chauffage et en climatisation. Ces valeurs peuvent être copiées dans la feuille de calcul en cliquant sur le bouton « Coller les données ».

Les systèmes de pompe à chaleur géothermique sont souvent constitués de plusieurs pompes à chaleur de plus petite puissance. Dans ce cas, on prendra comme COP moyen la moyenne pondérée selon la puissance de chaque machine, des COP de chacune des machines. En

choisissant un rendement plus élevé, on réduit la consommation d'électricité mais on augmente les coûts de la pompe à chaleur. L'utilisation de pompes à chaleur à haut rendement peut parfois demander l'installation d'un échangeur souterrain légèrement plus grand. En effet, les économies sur la consommation électrique du moteur doivent alors être compensées par une plus grande extraction de chaleur provenant du sol. En contrepartie, le taille requise de l'échangeur souterrain en mode de climatisation sera moins grande.

Manufacturier de pompes à chaleur

L'utilisateur entre le nom du manufacturier de la ou des pompes à chaleur sélectionnées dans le modèle. Cette information n'est donnée qu'à titre de référence seulement. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données de produits en ligne RETScreen.

Modèle de pompe à chaleur

L'utilisateur entre le nom du modèle de pompe à chaleur. Cette information n'est donnée qu'à titre de référence seulement. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données de produits en ligne RETScreen.

COP standard de climatisation

Voir « Rendement moyen de la pompe à chaleur » pour des explications.

COP standard de chauffage

Voir « Rendement moyen de la pompe à chaleur » pour des explications.

Puissance nominale suggérée de chauffage

Le modèle calcule la puissance nominale (kW) en chauffage suggérée de la pompe à chaleur qui permettra de répondre aux besoins en chauffage de l'application. Cette valeur est exprimée en kW. Selon le critère de conception choisi dans la sous-section « Système d'échange géothermique », cette valeur est déterminée soit à partir de la charge de calcul (de pointe) en chauffage du bâtiment, soit à partir de sa charge de calcul (de pointe) en climatisation. La puissance nominale suggérée en chauffage tiendra compte aussi de la différence entre les conditions standard de tests et les conditions réelles de l'application envisagée. Elle est déterminée globalement pour tout le bâtiment dans son ensemble. Si l'application est en plusieurs zones ayant chacune leur propre pompe à chaleur, la puissance nécessaire de chaque pompe à chaleur sera déterminée selon les charges de pointe de chaque zone. Aussi, il est possible que la somme des puissances nominales en chauffage de toutes les pompes à chaleur soit plus élevée que la puissance nominale en chauffage suggérée par le modèle RETScreen.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la puissance nominale suggérée de chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW »,

« million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

La valeur de la puissance nominale suggérée de chauffage de la pompe à chaleur dépend du « Critère de conception » choisi par l'utilisateur.

Critère de conception sur le chauffage : En choisissant ce critère, on considère :

- Que l'échangeur dans le sol est dimensionné sur les besoins d'extraction de chaleur du sol pour assurer la charge de pointe en chauffage ; et

- Que la pompe à chaleur est dimensionnée pour couvrir à la fois les charges de pointe de refroidissement (frigorifique) et thermique du bâtiment.

Cette conception peut conduire aux situations suivantes :

- Que l'échangeur dans le sol soit trop faible pour évacuer la chaleur en été, et dans ce cas on devra ajouter un système auxiliaire de rejet de chaleur (par ex. une tourelle de refroidissement) ; ou

- Que la pompe à chaleur soit surdimensionnée pour les besoins de climatisation. Lorsque le surdimensionnement excède 150 %, un message apparaît à côté de la valeur de puissance nominale suggérée, en rouge : « Pompe à chaleur surdimensionnée ». L'utilisateur devrait alors plutôt envisager le critère de conception sur la climatisation. En effet, à moins de disposer d'une technologie de contrôle sophistiquée, telle qu'un compresseur à vitesse variable, surdimensionner des équipements de climatisation peut conduire à des problèmes de contrôle (en particulier pour la déshumidification).

Critère de conception sur la climatisation : En choisissant ce critère, on considère que la pompe à chaleur et l'échangeur dans le sol sont dimensionnés pour couvrir la charge de pointe de refroidissement. Cette conception peut conduire aux situations suivantes :

- Que la pompe à chaleur soit trop faible pour assurer la charge de pointe en chauffage, et dans ce cas, on devra ajouter un système de chauffage auxiliaire ; ou

- Que le système de pompe géothermique entier puisse être trop puissant par rapport aux besoins en chauffage ; ou

- Que l'échangeur de chaleur dans le sol ne soit pas assez puissant pour fournir la demande d'énergie à la pompe à chaleur pour fournir la puissance de chauffage même si la pompe à chaleur est suffisamment puissante, et dans ce cas, l'avertissement « Échangeur dans le sol sous-dimensionné » apparaîtra à côté de la rubrique « Puissance nominale suggérée en chauffage ». Dans ce cas, le modèle limitera l'énergie fournie par la pompe à chaleur selon celle qu'est capable de fournir l'échangeur dans le sol et il faudra prévoir un chauffage d'appoint pour répondre à la charge de pointe.

Puissance nominale suggérée de climatisation

Le modèle calcule la puissance nominale (kW) suggérée en climatisation de la pompe à chaleur qui permettra de répondre aux besoins de climatisation de l'application. Cette valeur est exprimée en kW. Selon le critère de conception choisi dans la sous-section « Système d'échange géothermique », cette valeur est déterminée soit à partir de la charge de pointe en chauffage du bâtiment, soit à partir de sa charge de pointe en climatisation. La puissance nominale suggérée en climatisation tient compte aussi de la différence entre les conditions normalisées d'essais et les conditions réelles de l'application envisagée. Elle est déterminée globalement pour le bâtiment dans son ensemble. Si l'application est en plusieurs zones ayant chacune leur propre pompe à chaleur, la puissance nécessaire de chaque pompe à chaleur sera déterminée selon les charges de pointe de chaque zone. Aussi, il est possible que la somme des puissances nominales en climatisation de toutes les pompes à chaleur soit plus élevée que la puissance nominale en climatisation suggérée par le modèle RETScreen.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la puissance nominale suggérée de climatisation dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

La valeur de la puissance nominale suggérée de climatisation de la pompe à chaleur dépend du « Critère de conception » choisi par l'utilisateur.

Critère de conception sur le chauffage : En choisissant ce critère, on considère :

- Que la pompe à chaleur est dimensionnée pour couvrir à la fois les charges de pointe de refroidissement et thermique du bâtiment ;

- Que les besoins de climatisation sont entièrement assurés par la pompe à chaleur, même si l'échangeur de chaleur dans le sol est insuffisant pour absorber le total des charges thermiques, et dans ce cas on aura recours à un évacuateur de chaleur additionnel.

Cette conception peut conduire à un surdimensionnement de la pompe à chaleur pour les besoins de climatisation. Lorsque le surdimensionnement excède 150 %, l'avertissement « Pompe à chaleur surdimensionnée » apparaît, en caractère rouge, à côté de la valeur de puissance nominale suggérée. L'utilisateur devrait alors considérer l'utilisation du critère de conception sur la climatisation. En effet, à moins de disposer d'une technologie de contrôle sophistiquée, de compresseur à vitesse variable par exemple, surdimensionner des équipements de climatisation peut conduire à des problèmes de contrôle (en particulier pour la déshumidification).

Critère de conception sur la climatisation : Lorsque l'option « Climatisation » a été sélectionnée par l'utilisateur comme critère de conception, la pompe à chaleur est toujours dimensionnée pour répondre à la charge de pointe en climatisation.

Chauffage d'appoint et puits de chaleur supplémentaire

Cette sous-section présente les paramètres de conception du système de chauffage d'appoint ou du système supplémentaire d'évacuation de chaleur, s'ils sont nécessaires l'un ou l'autre.

Puissance d'appoint suggérée en chauffage

Le modèle calcule la puissance d'appoint (kW) suggérée en chauffage pour pouvoir répondre totalement à la charge de pointe en chauffage, en complément de la puissance fournie par le système envisagé de pompe à chaleur géothermique. Plusieurs raisons font qu'une puissance d'appoint est nécessaire :

- La puissance de la pompe à chaleur en mode chauffage est insuffisante pour assurer la charge de pointe en chauffage du bâtiment ;
- L'échangeur de chaleur dans le sol est sous-dimensionné par rapport aux besoins de chauffage.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la puissance d'appoint suggérée en chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Évacuateur de chaleur additionnel suggéré

Le modèle calcule la puissance supplémentaire (kW) à ajouter à celle que l'échangeur dans le sol est capable d'absorber en mode climatisation, pour que la pompe à chaleur puisse répondre à la charge de pointe en climatisation du bâtiment. Un évacuateur additionnel de chaleur est nécessaire lorsque l'échangeur dans le sol a été dimensionné en utilisant le critère de conception sur le chauffage et que la charge de pointe en climatisation est prédominante par rapport à celle en chauffage.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la puissance de l'évacuateur de chaleur additionnel dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Production annuelle d'énergie

Cette section donne les paramètres qui permettent d'évaluer les performances énergétiques annuelles du projet de pompe à chaleur géothermique.

Chauffage

Électricité consommée par la PAC

Le modèle calcule la consommation d'électricité (MWh) de la PAC (pompe à chaleur géothermique) pour assurer les besoins annuels de chauffage du bâtiment. Cette valeur comprend non seulement l'énergie consommée par le compresseur de la pompe à chaleur, mais aussi celle des pompes circulatrices du caloporteur de l'échangeur dans le sol ou les pompes d'extraction d'eaux souterraines. Le modèle estime que la consommation d'énergie des pompes circulatrices est égale à 17 W pour chaque 1 000 W de puissance de compresseur. Par contre, la consommation d'énergie des pompes d'extraction d'eau dépend de la hauteur de pompage (spécifiée par l'utilisateur).

La consommation annuelle de la pompe à chaleur en électricité pour le chauffage dépend du niveau sélectionné de « Rendement moyen de la pompe à chaleur ». Cette consommation est transférée dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* où elle sert à calculer les frais annuels d'opération de la pompe à chaleur géothermique, donc les coûts annuels en énergie.

Énergie fournie par le chauffage d'appoint

Le modèle calcule la quantité d'énergie thermique (MWh) fournie par le système de chauffage d'appoint. Ce système est considéré ayant les mêmes caractéristiques que le système de chauffage de référence. Il utilise en particulier la même source d'énergie et aura le même rendement saisonnier. Cette consommation est transférée dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* où elle sert à calculer les coûts annuels en énergie.

Énergie de chauffage fournie par la PAC

Le modèle calcule la quantité d'énergie thermique (MWh) fournie par le système de pompe à chaleur géothermique (PAC). La somme de l'énergie thermique fournie par la pompe à chaleur géothermique et de celle fournie par le système de chauffage d'appoint sera égale à la « Demande d'énergie en chauffage » établie dans la feuille de calcul *Besoins thermiques*.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer l'énergie thermique fournie par la PAC dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

COP saisonnier en chauffage

Le modèle calcule le coefficient de performance saisonnier du système de pompe à chaleur géothermique en mode chauffage. Il s'agit du rapport entre l'énergie thermique annuelle fournie par la pompe à chaleur et sa consommation annuelle d'électricité, incluant celle des pompes circulatrices dans l'échangeur ou d'extraction d'eau de puits.

Climatisation

Électricité consommée par la PAC

Le modèle calcule la consommation d'électricité (MWh) de la PAC (pompe à chaleur) pour assurer les besoins annuels de climatisation du bâtiment. Cette valeur comprend non seulement l'énergie consommée par le compresseur de la pompe à chaleur, mais aussi celle des pompes circulatrices du caloporteur de l'échangeur dans le sol ou les pompes d'extraction d'eaux souterraines. Le modèle estime que la consommation d'énergie des pompes circulatrices est égale à 17 W pour chaque 1 000 W de puissance de compresseur. Par contre, la consommation d'énergie des pompes d'extraction d'eau dépend de la hauteur de pompage (spécifiée par l'utilisateur).

La consommation annuelle de la pompe à chaleur en électricité pour la climatisation du bâtiment dépend aussi du niveau sélectionné de « Rendement moyen de la pompe à chaleur ». Cette consommation est transférée dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* où elle sert à calculer les frais annuels d'opération de la pompe à chaleur géothermique, donc les coûts annuels en énergie.

Énergie de refroidissement fournie par la PAC

Le modèle calcule la quantité d'énergie de refroidissement (MWh) fournie par le système de pompe à chaleur géothermique (PAC), c'est à dire la quantité d'énergie thermique qu'elle a dû extraire du bâtiment pendant la saison de climatisation, incluant, selon le cas, l'énergie de l'évacuateur de chaleur additionnel. Elle doit être égale à la « Demande d'énergie en climatisation » établie dans la feuille de calcul *Besoins thermiques*.

Pour évaluer la demande d'énergie en climatisation, le modèle ne considère aucun moyen naturel ou gratuit d'abaisser la charge de climatisation. A titre d'exemple de moyen naturel d'abaisser la demande d'énergie en climatisation, on peut citer :

- Une augmentation de l'apport d'air neuf lorsque la température et l'humidité extérieures permettent de rafraîchir le bâtiment ; et

- La circulation du caloporteur venant du sol directement dans un échangeur placé dans le système de ventilation, en amont de la pompe à chaleur, ce qui peut dans certaines conditions suffire à assurer le rafraîchissement sans utiliser la pompe à chaleur.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer l'énergie de refroidissement produite par la PAC dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

COP saisonnier en climatisation

Le modèle calcule le coefficient saisonnier de performance en climatisation du système de pompe à chaleur géothermique. Il s'agit du ratio entre la demande d'énergie de climatisation qui a été comblée et la consommation d'électricité du système de pompe à chaleur géothermique pendant la saison de climatisation, incluant la consommation des pompes circulatrices de caloporteur ou des pompes extractrices d'eaux souterraines.

EER en unités impériales

Comme l'industrie nord-américaine occupe une place importante dans la technologie des pompes à chaleur, les spécifications sont souvent mieux connues à partir des unités impériales. C'est en particulier le cas du COP de climatisation qui est aussi souvent appelé : « Energy Efficiency Ratio » (EER). Il s'agit de la même grandeur physique que le COP saisonnier de climatisation sauf que la demande d'énergie en climatisation est exprimée en milliers de BTU au lieu de kWh. L'EER est donc le rendement exprimé en milliers de BTU/kWh. Le facteur multiplicatif 3,41 peut être utilisé pour convertir une valeur de COP vers une valeur de EER.

Note : Arrivé à ce point, l'utilisateur doit compléter la feuille de calcul *Analyse des coûts*.

Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation

Dans cette section du logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres, la feuille de calcul *Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation* aide l'utilisateur à estimer les besoins (en puissance et en énergie) en chauffage et en climatisation du bâtiment pour lequel le projet de pompe à chaleur géothermique est envisagé. On commence par entrer des données climatiques et géographiques sur le lieu du projet de pompe à chaleur géothermique. L'utilisateur doit ensuite choisir entre deux méthodes pour évaluer les besoins : soit il connaît les puissances et les consommations d'énergie du bâtiment, soit il ne dispose que de caractéristiques architecturales. Pour plus d'information l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologiques en ligne RETScreen.

Lorsque l'utilisateur a complété la feuille de calcul *Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation*, il peut retourner dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Caractéristiques du site

Les paragraphes qui suivent, présentent les caractéristiques prises en compte par le modèle pour estimer les charges de pointe et les besoins énergétiques annuels en chauffage et en climatisation du bâtiment.

Station météorologique la plus proche du projet

L'utilisateur entre la station météo qui est la plus représentative du climat local où se fera le projet. Cette indication est donnée à titre de référence seulement. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologiques en ligne RETScreen.

Température extérieure de calcul en chauffage

L'utilisateur entre la température (°C) extérieure de calcul en chauffage pour le site du projet, à savoir la température minimale mesurée à une fréquence d'au moins 1 % durant l'année [ASHRAE, 1997]. Cette température sert à calculer la demande d'énergie en chauffage du bâtiment. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologiques en ligne RETScreen.

Les valeurs typiques de températures extérieures de calcul en chauffage varient de -40 à 15 °C.

Note : Les valeurs de température extérieure de calcul en chauffage, qui sont présentées dans la base de données météorologiques RETScreen, sont calculées sur une base horaire et pour une année complète. L'utilisateur peut changer la valeur proposée pour tenir compte des conditions locales particulières. Par exemple, le site où les températures sont enregistrées (p. ex. un aéroport) peut être en permanence de 1 à 2 °C plus froid que le site du projet (p. ex. dans le centre d'une grande ville avoisinante).

Température extérieure de calcul en climatisation

L'utilisateur entre la température (°C) extérieure de calcul en climatisation pour le site du projet, à savoir la température maximale mesurée à une fréquence d'au moins 1 % durant l'année [ASHRAE, 1997]. Cette température sert à calculer la demande d'énergie en climatisation du bâtiment. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologiques en ligne RETScreen.

Les valeurs typiques de températures extérieures de calcul en climatisation varient de 10 à 47 °C.

Note : Les valeurs de température extérieure de calcul en climatisation, qui sont présentées dans la base de données météorologiques RETScreen, sont calculées sur une base horaire et pour une année complète. L'utilisateur peut changer la valeur proposée pour tenir compte des conditions locales particulières. Par exemple, le site où les températures sont enregistrées (p. ex. un aéroport) peut être en permanence de 1 à 2 °C plus froid que le site du projet (p. ex. dans le centre d'une grande ville avoisinante).

Écart moyen des températures quotidiennes en été

L'utilisateur du modèle entre l'écart moyen des températures (°C) quotidiennes en été. Cette valeur représente, pour le site du projet, la différence entre la température journalière maximale moyenne et la température journalière minimale moyenne durant le mois le plus chaud de l'été [ASHRAE, 1997]. Cette valeur est utilisée avec la température extérieure de calcul en chauffage et en climatisation, pour estimer les besoins annuels d'énergie en chauffage et en climatisation du bâtiment selon une méthode simplifiée basée sur une répartition des températures par intervalles. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologiques en ligne RETScreen.

Les valeurs typiques d'écart moyen des températures quotidiennes en été varient de 5 à 15°C.

Niveau d'humidité pendant la saison de climatisation

L'utilisateur sélectionne, à partir de la liste déroulante, un des trois niveaux d'humidité qui correspond aux conditions météorologiques du site du projet : « Bas », « Moyen » et « Élevé ». La charge thermique de climatisation d'un bâtiment est composée de la chaleur sensible et de la chaleur latente. La chaleur sensible fait référence à la capacité du système de climatisation à maintenir une température constante dans le bâtiment. La chaleur latente fait référence à la capacité du système de climatisation à maintenir un degré d'humidité constant dans le bâtiment. Un système de climatisation conventionnel est typiquement conçu pour que 60 à 80 % de sa capacité puisse répondre à la charge sensible et que 20 à 40 % puisse répondre la charge latente (ou à la charge de déshumidification). La charge latente de climatisation provient en plus grande partie du renouvellement en air frais et des occupants du bâtiment. Le niveau d'humidité sélectionné par l'utilisateur est utilisé par le modèle pour calculer la charge latente de climatisation provenant du renouvellement en air frais. Le tableau suivant donne le ratio de la

charge latente sur la charge sensible, pour l'air extérieur aux conditions de calcul, qui sera utilisé pour la conception, selon le niveau d'humidité sélectionné.

Niveau d'humidité	Ratio de la chaleur latente sur la chaleur sensible	Humidité relative pour une température ambiante de 30 °C
Bas	0,5	40 %
Moyen	1,5	50 %
Élevé	2,5	60 %

Ratios de la chaleur latente sur la chaleur sensible considérés par le modèle, selon le niveau d'humidité sélectionné

L'utilisateur peut obtenir des valeurs précises de ratio en consultant les données d'organisations environnementales et/ou de centres météorologiques. Pour plus d'information, l'utilisateur peut aussi consulter la base de données-satellite de la NASA (accessible par l'intermédiaire de la base de données météorologiques en ligne de RETScreen).

Latitude du lieu du projet

L'utilisateur entre la latitude du lieu du projet, envisagéen °N à partir de l'équateur. Les valeurs seront comprises entre -90 (pôle Sud) et +90 (pôle Nord). La latitude de la station météorologique la plus proche du projet peut être directement recopiée de la base de données météorologiques. Cependant si l'utilisateur connaît la latitude exacte du projet, il a toujours la possibilité de l'inscrire manuellement à la place de la valeur recopiée.

Cette valeur est utilisée pour estimer les gains solaires du bâtiment. Les gains solaires sont calculés selon la méthode recommandée par l'ASHRAE [ASHRAE, 1997].

Note : Si l'option « Profil énergétique » a été choisie dans la liste déroulante « Information disponible sur le bâtiment », la latitude du lieu du projet n'est pas utilisée dans le modèle.

Température moyenne annuelle du sol

L'utilisateur entre la température moyenne annuelle du sol (°C). Cette valeur est utilisée pour calculer la température du sol à différentes profondeurs, selon le type d'échangeur de chaleur qui sera utilisé, ou pour calculer la température des eaux souterraines. A plus de 15 m de profondeur, le modèle considère que la terre, comme les eaux souterraines sont à une température constante égale à cette moyenne annuelle.

Selon l'endroit, la température moyenne annuelle du sol varie de températures négatives, en conditions de pergélisol, jusqu'à 20 °C. Ainsi dans une ville de climat froid comme Québec cette valeur est de 7,4 °C alors qu'à Atlanta, plus au Sud elle vaut 16,8 °C. Si la température du sol est basse, un système à échangeur de chaleur horizontal aura des problèmes de performance puisque le rendement des appareils est alors considérablement réduit.

Les données de température du sol ne sont pas disponibles dans la base de données météorologiques en ligne de RETScreen. Par contre, la base de données-satellite de la NASA

(accessible par l'intermédiaire de la base de données météorologiques en ligne de RETScreen) peut fournir ces valeurs pour tout le globe. Ces données sont aussi disponibles à partir de l'ASHRAE [ASHRAE, 1995] pour 28 endroits à travers le Canada et 111 à travers les États-Unis. L'utilisateur peut aussi obtenir ces données d'autres sources telles que les stations ou services météorologiques.

Amplitude annuelle des températures du sol

L'utilisateur donne la valeur de l'amplitude annuelle des températures (°C) du sol. Il s'agit de la **moitié** de l'écart entre les températures moyennes extrêmes du sol à la profondeur de mesure de la température. Le modèle calcule à partir de cette valeur les températures extrêmes des eaux souterraines ou du sol à la profondeur d'enfouissement de l'échangeur.

Selon les endroits, l'amplitude annuelle des températures du sol est de 5 à 20 °C. Une première approximation de cette valeur peut être de prendre 30 % de la différence entre la température extérieure de calcul en chauffage et la température extérieure de calcul en climatisation telles que définies dans la feuille de calcul *Besoins thermiques*.

Au Canada, on observe des amplitudes annuelles de l'ordre de 15 °C, alors qu'aux États-Unis, elles sont plutôt de 12 °C environ. Généralement les amplitudes sont plus élevées en climats plus froids et plus faibles dans les régions chaudes. Par exemple, à Québec, où les températures extérieures de calcul en chauffage et en climatisation sont respectivement de -24 °C et 26,9 °C, l'amplitude annuelle de température est de 15,6 °C, alors qu'à Atlanta, elle n'est que 10,6 °C alors que les températures de calcul en chauffage et en climatisation sont de - 4,9 °C et 33 °C.

Les données d'amplitude des températures du sol ne sont pas disponibles dans la base de données météorologiques en ligne de RETScreen. Par contre, la base de données-satellite de la NASA (accessible par l'intermédiaire de la base de données météorologiques en ligne de RETScreen) peut fournir ces valeurs pour tout le globe. Ces données sont aussi disponibles à partir de l'ASHRAE [ASHRAE, 1995] pour 28 endroits à travers le Canada et 111 à travers les États-Unis. L'utilisateur peut aussi obtenir ces données d'autres sources telles que les stations ou services météorologiques.

Profondeur des mesures de la température du sol

L'utilisateur entre la profondeur à laquelle la température moyenne annuelle du sol et l'amplitude annuelle des températures du sol sont mesurées. Pour les données obtenues à partir de l'ASHRAE [ASHRAE, 1995] pour 28 endroits à travers le Canada et 111 à travers les Etats-Unis, l'utilisateur devrait entrer 3 m (10 pi). Pour les données obtenues à partir de la base de données-satellite de la NASA.

Besoins en chauffage et en climatisation du bâtiment

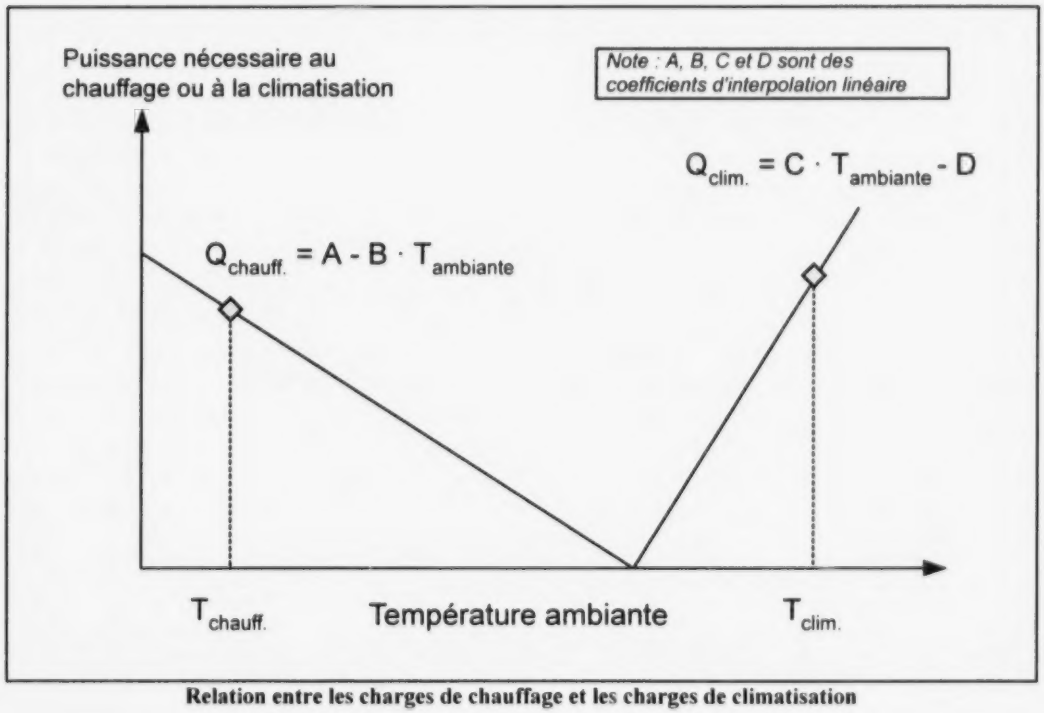
Les paramètres servants à estimer les besoins en chauffage et en climatisation que la pompe à chaleur géothermique doit fournir sont la charge de calcul en chauffage, la demande annuelle

d'énergie en chauffage, la charge de calcul en climatisation et la demande annuelle d'énergie en climatisation.

Type de bâtiment

L'utilisateur entre le type de bâtiment qui doit être équipé d'une pompe à chaleur géothermique. L'utilisateur sélectionne, à partir de la liste déroulante, une des trois options suivantes : « Résidentiel », « Commercial » et « Industriel ». Ce choix affectera la méthode de calcul des charges de pointe et des besoins énergétiques du bâtiment. Par exemple, la sélection d'un bâtiment « Résidentiel » va avoir pour effet de réduire le nombre d'entrées qu'aura à faire l'utilisateur dans la feuille de calcul.

Les bâtiments commerciaux et industriels sont plus difficiles à modéliser que les bâtiments résidentiels. Ces bâtiments ont, en général, beaucoup plus de gains internes que les bâtiments résidentiels. Ces gains internes proviennent des occupants (plus nombreux), des lumières, des équipements et/ou de la machinerie (type d'activité) et du soleil (fenestration importante). Les horaires et les taux d'occupation sont aussi souvent complexes. Les prédictions de charges de pointe et de besoins énergétiques sont donc très spécifiques à chaque projet dans le cas de bâtiments commerciaux et industriels. La méthode choisie pour estimer les charges de pointe et les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation du bâtiment, repose sur la répartition des charges par intervalles de température [ASHRAE, 1985] selon une relation linéaire avec la température extérieure, telle qu'illustrée à la figure ci-dessous.



Relation entre les charges de chauffage et les charges de climatisation

Quelques simplifications ont été faites au niveau du modèle dans le cas des bâtiments résidentiels : on suppose qu'il y a 4 occupants, des gains internes de 13 W/m^2 et une surface de fenestration correspondant à 15 % de la surface de planchers (excluant le sous-sol).

Information disponible sur le bâtiment

L'utilisateur sélectionne le type d'information dont il dispose sur le bâtiment qu'il envisage d'équiper d'une pompe à chaleur géothermique, afin d'en déterminer les besoins énergétiques. L'utilisateur doit choisir, à partir de la liste déroulante, une des deux options suivantes : « Architecturale » et « Profil énergétique ». Si l'utilisateur sélectionne « Profil énergétique » dans la liste déroulante, les mêmes entrées seront requises quelle que soit la sélection faite sous le sujet « Type de bâtiment ».

Architecturale : Lorsque l'utilisateur sélectionne cette option, le modèle calcule les charges de pointe et les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation à partir des caractéristiques architecturales du bâtiment.

Profil énergétique : Lorsque cette option est sélectionnée, les charges de pointes et les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation sont entrés par l'utilisateur du modèle. Le modèle détermine, à partir de ces valeurs, les relations entre chacune des charges tel qu'illustré à la figure suivante. L'option « Profil énergétique » n'offre pas le même niveau de flexibilité que l'option « Architecturale » ; par exemple, on ne peut y distinguer les périodes occupées des périodes inoccupées dans le bâtiment.

Surface de planchers

L'utilisateur entre la surface totale (m²) de planchers du bâtiment qui est chauffée ou climatisée, excluant la surface de planchers du sous-sol. Cette valeur est la variable la plus importante utilisée par le modèle pour calculer les charges de pointe et les besoins énergétiques du bâtiment.

Typiquement, les surfaces de planchers pour bâtiments commerciaux peuvent varier de 500 à 9 000 m². Une surface de planchers typique pour un bâtiment résidentiel est de 140 m².

Nombre d'étages

L'utilisateur entre le nombre d'étages du bâtiment, excluant le sous-sol. Cette valeur est utilisée par le modèle pour déterminer le bilan entre les pertes et les gains de chaleur au niveau du plafond du bâtiment.

La plage est de 1 à 6 étages dans le cas d'une installation de pompe à chaleur géothermique dans un bâtiment commercial typique. Au niveau résidentiel, le nombre d'étage est de 1 ou 2.

Importance des surfaces de fenêtres

L'utilisateur sélectionne, à partir de la liste déroulante, l'importance des surfaces de fenêtres qui correspond le plus au bâtiment modélisé : « Moyenne », « Élevée » et « Très élevée ». À partir de cette sélection, le modèle calcule la surface totale de fenêtres à partir de la surface totale de planchers tel que présenté dans le tableau. Dans tous les cas, le type de fenêtres qui est modélisé est : fenêtre double vitrage, vitrage clair, coefficient d'ombrage de 0,81 et coefficient de pertes de chaleur de 3 W/(m²·°C) [ASHRAE, 1985].

Importance des surfaces de fenêtres	Ratio des surfaces de fenêtres sur la surface de planchers
Moyenne	0,15
Élevée	0,25
Très élevée	0,35

Importance des surfaces de fenêtres dans le bâtiment

L'importance des surfaces de fenêtres est de « Moyenne » pour un bâtiment commercial typique.

Niveau d'isolation thermique

L'utilisateur sélectionne, à partir de la liste déroulante, le niveau d'isolation qui correspond le plus au bâtiment modélisé : « Faible », « Moyen » et « Élevée ». Le modèle calcule, à partir de cette sélection, le coefficient de pertes de chaleur (valeur-U) des murs et du plafond du bâtiment. Cette sélection détermine dans le modèle le taux d'infiltration et le niveau d'isolation thermique du sous-sol pour les bâtiments résidentiels. Les valeurs utilisées par le modèle sont présentées dans le tableau.

Niveau d'isolation	Valeur-U des murs W/(m²·°C)	Valeur-U du toit W/(m²·°C)	Valeur-U[1] du sous-sol W/(m²·°C)	Taux d'infiltration[1] CAH[2]
Faible	0,50	0,33	0,50	0,50
Moyen	0,29	0,20	0,33	0,25
Élevé	0,20	0,11	0,25	0,10

(1 : Bâtiment résidentiel seulement ; 2 : CAH = changement d'air à l'heure)

Niveau d'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment

Les bâtiments résidentiels construits dans les régions nordiques de l'Amérique du Nord avant 1970 ont généralement un « Bas » niveau d'isolation (à moins que des rénovations aient contribué à améliorer la résistance thermique de leur enveloppe). Les bâtiments résidentiels construits entre 1970 et 1990 ont habituellement un niveau d'isolation « Moyen », tandis que ceux qui ont été construits après 1990 ont un niveau d'isolation « Élevé ».

En général, les bâtiments commerciaux ont un niveau d'isolation légèrement plus bas que les bâtiments résidentiels de la même année de construction. Le niveau d'isolation des bâtiments industriels peut varier beaucoup, mais en général, il est inférieur au niveau d'isolation des bâtiments résidentiels et commerciaux.

Profil d'occupation du bâtiment

L'utilisateur sélectionne le profil d'occupation du bâtiment. Les options proposées dans la liste déroulante sont : « De jour », « De nuit » et « 24 h/24 ». Cette sélection détermine la durée et la période d'occupation du bâtiment. La sélection de l'option « De jour » correspond à une période d'occupation comprise entre 7h 00 et 19h 00, et « De nuit » à une période comprise entre 19h 00 et 7h 00. Le modèle utilise le profil d'occupation pour calculer les gains de chaleur sensible et latente générés par les occupants, ainsi que pour déterminer le volume d'air neuf de ventilation. Le modèle suppose que chaque occupant génère 75 W de chaleur sensible et 75 W de chaleur latente et qu'un volume d'air neuf de ventilation de 20 L/s par personne est requis. Pour les bâtiments commerciaux, la densité de l'occupation est de 1 personne par 10 m² de surface de planchers. Pour les bâtiments industriels, la densité de l'occupation est de 1 personne par 50 m² de surface de planchers.

En général, les bâtiments commerciaux ont un profil d'occupation « De jour ». Les bâtiments industriels ont un profil d'occupation pouvant aller « De jour » à « 24 h/24 ». Une occupation « De nuit » est moins fréquente mais peut survenir dans le cas d'un bâtiment commercial.

Gains internes

L'utilisateur du modèle sélectionne le niveau d'utilisation des équipements et des lumières qui contribuent aux gains internes dans le bâtiment. Les options proposées dans la liste déroulante sont : « Faibles », « Moyens » et « Élevés ». Cette sélection détermine la quantité d'énergie thermique générée dans le bâtiment par les équipements et les lumières. Les bâtiments commerciaux et industriels sont caractérisés par des gains internes beaucoup plus importants que pour les bâtiments résidentiels. Dans le cas des bâtiments commerciaux, les sources de gains internes sont en majorité composées des lumières et des équipements de bureau. Par contre, dans le cas des bâtiments industriels, les sources de gains internes peuvent être très nombreuses et variées (compresseurs, moteurs, procédés industriels, etc.). Une analyse de cas par cas est en général requise pour évaluer les gains internes dans les bâtiments industriels. Le modèle utilise le niveau de gains internes et le profil d'occupation sélectionnés pour évaluer les gains internes journaliers dans le bâtiment. Le tableau présente les gains internes qui sont associés avec chaque niveau d'utilisation des équipements et des lumières.

Niveau d'utilisation des équipements et des lumières	Gains internes générés par les équipements W/m²	Gains internes générés des lumières W/m²
Faible	5	5
Moyen	10	15
Élevé	20	25

Niveau des gains internes

Le niveau d'utilisation des équipements et des lumières varie en fonction du type de bâtiment à modéliser. Par exemple, on sélectionnera « Moyen » pour un immeuble à bureau typique, « Faible » pour une école et « Élevé » pour un hôpital. On sélectionnera « Moyen » à « Élevé » pour caractériser les gains internes d'un bâtiment industriel (pour un bâtiment industriel,

l'utilisateur doit évaluer les gains internes du bâtiment à modéliser et sélectionner l'option du tableau qui s'approche le plus de cette valeur).

Type de fondation

L'utilisateur sélectionne le type de fondation qui correspond au bâtiment résidentiel à modéliser. Les options proposées dans la liste déroulante sont : « Cave pleine hauteur » et « Dalle au sol ». Cette sélection permet au modèle d'évaluer les pertes de chaleur au niveau des fondations du bâtiment. La sélection de « Cave pleine hauteur » génère des charges de chauffage plus élevées, mais a moins d'impact sur la charge de climatisation du bâtiment.

Dans le cas d'une pompe à chaleur utilisée pour une application en pergélisol, les pertes de chaleur à travers les fondations (à travers la dalle dans ce cas) constituent la principale source de chaleur de la pompe (la boucle fermée de la pompe à chaleur se trouve à une certaine profondeur sous la dalle). On doit donc considérer ces pertes de chaleur pour évaluer l'énergie disponible pour la pompe à chaleur. La pompe à chaleur géothermique doit absorber l'énergie à un taux égal ou supérieur aux pertes de chaleur de la dalle, et ce, de façon à maintenir une température constante dans le sol. Le modèle RETScreen n'effectue pas cet équilibre qui doit être vérifié séparément.

Charge de calcul en chauffage

Si l'utilisateur a sélectionné « Profil énergétique » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », la valeur de la charge de calcul en chauffage est entrée directement par l'utilisateur. Cette valeur, exprimée en kW, dépend de la « Température extérieure de calcul en chauffage » pour le site du projet et du niveau d'isolation du bâtiment.

Le modèle utilise la charge de calcul en chauffage, en combinaison avec la charge de calcul en climatisation, pour déterminer la puissance suggérée de la pompe à chaleur. La charge de calcul en chauffage correspond à la charge de pointe en chauffage du bâtiment au complet, qui survient à un moment précis, sous la température extérieure de calcul en chauffage. Dans le cas d'un bâtiment comportant plusieurs zones (avec des thermostats indépendants), la somme des charges de pointe en chauffage de chaque zone (qui ne survient pas en même temps puisque les gains solaires, le profil d'occupation, etc., changent avec le temps) excède généralement la charge de pointe en chauffage du bâtiment. La pointe en chauffage du bâtiment survient à un moment précis, alors que ce ne sont pas toutes les zones qui sont en pointe de chauffage. Pour les bâtiments résidentiels, la charge globale de chauffage est normalement la somme des charges de chauffage de toutes les pièces sous les mêmes conditions de température.

Typiquement, une charge de pointe en chauffage peut varier de 20 à 120 W/m².

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la charge de calcul en chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Demande annuelle d'énergie en chauffage

Si l'utilisateur a sélectionné « Profil énergétique » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », la valeur de la demande annuelle d'énergie en chauffage, exprimée en MWh, est entrée directement par l'utilisateur.

La demande annuelle d'énergie en chauffage correspond à la quantité d'énergie thermique nécessaire pour chauffer le bâtiment. Cette valeur est utilisée pour générer les équations présentées dans la figure Relation entre les charges de chauffage et les charges de climatisation qui serviront à déterminer la consommation énergétique du bâtiment en mode chauffage.

La demande annuelle d'énergie en chauffage est utilisée par le modèle, en combinaison avec l'efficacité saisonnière du système de chauffage de référence, pour calculer le coût annuel de référence en chauffage pour le bâtiment. Pour les régions nordiques de l'Amérique du Nord, la consommation énergétique typique en chauffage pour un bâtiment commercial, peut varier de 50 à 250 (kWh/m²)/an. La consommation énergétique en chauffage pour un bâtiment résidentiel est de l'ordre de 120 (kWh/m²)/an, ce qui représente environ 60 % de sa demande annuelle en énergie.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la demande annuelle d'énergie en chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Charge de calcul en climatisation

Si l'utilisateur a sélectionné « Profil énergétique » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », la valeur de la charge de calcul en climatisation du bâtiment est directement entrée ici par l'utilisateur. Cette valeur, exprimée en kW, dépend surtout de la « Température extérieure de calcul en climatisation » pour le site du projet, des gains internes et du niveau de fenestration du bâtiment.

Le modèle utilise la charge de calcul en climatisation, en combinaison avec la charge de calcul en chauffage, pour déterminer la capacité suggérée de la pompe à chaleur. La charge de calcul en climatisation correspond à la charge en climatisation du bâtiment au complet, qui survient à un moment spécifique, sous la température extérieure de calcul en climatisation. Dans le cas d'un bâtiment comportant plusieurs zones (avec des thermostats indépendants), la somme des charges de pointe en climatisation de chaque zone (qui ne survient pas en même temps à cause des gains solaires, des profils d'occupation, etc., qui changent avec le temps) excède généralement la charge de pointe en climatisation du bâtiment. La pointe en climatisation du bâtiment survient à un moment précis, alors que ce ne sont pas toutes les zones du bâtiment qui sont en pointe de climatisation. Pour les bâtiments résidentiels, la charge globale de climatisation est normalement la somme des charges de climatisation de toutes les pièces sous les mêmes conditions de température.

La charge de pointe en climatisation est spécifique à chaque projet. Elle dépend des paramètres architecturaux du bâtiment, des caractéristiques du site et du type de bâtiment. Typiquement, les charges de pointe en climatisation peuvent varier de 50 W/m² pour des bâtiments résidentiels dans un climat tempéré, à plus de 200 W/m² pour des bâtiments commerciaux avec des gains internes importants dans un climat chaud.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la charge de calcul en climatisation dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Demande annuelle d'énergie en climatisation

Si l'utilisateur a sélectionné « Profil énergétique » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », la valeur de la demande annuelle d'énergie en climatisation, exprimée en MWh, est entrée directement par l'utilisateur.

La demande annuelle d'énergie en climatisation correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour climatiser le bâtiment. Cette valeur est utilisée pour générer les équations présentées dans la figure Relation entre les charges de chauffage et les charge de climatisation qui serviront à déterminer la consommation énergétique du bâtiment en mode climatisation.

La demande annuelle d'énergie nécessaire à la climatisation du bâtiment est utilisée par le modèle en combinaison avec le COP saisonnier d'un système de climatisation standard (qui représente le cas de référence), pour calculer le coût annuel de référence en énergie pour la climatisation.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la demande annuelle d'énergie en climatisation dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Note : Arrivé à ce point, l'utilisateur retourne à la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Charge de calcul en chauffage

Si l'utilisateur a sélectionné « Architecturale » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », le modèle calcule la charge de calcul en chauffage du bâtiment en se basant sur la « Température extérieure de calcul en chauffage » et sur les différents paramètres architecturaux entrés par l'utilisateur. Cette valeur est exprimée en kW.

Le modèle utilise la charge de calcul en chauffage, en combinaison avec la charge de calcul en climatisation, pour déterminer la puissance suggérée de la pompe à chaleur. La charge de calcul en chauffage correspond à la charge de pointe en chauffage du bâtiment au complet, qui survient à un moment précis, sous la température extérieure de calcul en chauffage. Dans le cas d'un bâtiment comportant plusieurs zones (avec des thermostats indépendants), la somme des charges

de pointe en chauffage de chaque zone (qui ne survient pas en même temps puisque les gains solaires, le profil d'occupation, etc., changent avec le temps) excède généralement la charge de pointe en chauffage du bâtiment. La pointe en chauffage du bâtiment survient à un moment précis, alors que ce ne sont pas toutes les zones qui sont en pointe de chauffage. Pour les bâtiments résidentiels, la charge globale de chauffage est normalement la somme des charges de chauffage de toutes les pièces sous les mêmes conditions de température.

Typiquement, une charge de pointe en chauffage peut varier de 20 à 120 W/m².

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la charge de calcul en chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Demande annuelle d'énergie en chauffage

Si l'utilisateur a sélectionné « Architecturale » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », le modèle calcule la demande annuelle d'énergie en chauffage en se basant sur les différents paramètres entrés par l'utilisateur. Cette valeur est exprimée en MWh.

La demande annuelle d'énergie en chauffage du bâtiment correspond à la quantité d'énergie thermique nécessaire pour chauffer le bâtiment. Cette valeur est utilisée pour générer les équations présentées dans la figure Relation entre les charges de chauffage et les charges de climatisation qui serviront à déterminer la consommation énergétique du bâtiment en mode chauffage.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la demande annuelle d'énergie en chauffage dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Charge de calcul en climatisation

Si l'utilisateur a sélectionné « Architecturale » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », le modèle calcule la charge de calcul en climatisation du bâtiment en se basant sur la « Température extérieure de calcul en climatisation » et sur les différents paramètres architecturaux entrés par l'utilisateur. Cette valeur est exprimée en kW.

Le modèle utilise la charge de calcul en climatisation, en combinaison avec la charge de calcul en chauffage, pour déterminer la capacité suggérée de la pompe à chaleur. La charge de calcul en climatisation correspond à la charge en climatisation du bâtiment au complet, qui survient à un moment spécifique, sous la température extérieure de calcul en climatisation. Dans le cas d'un bâtiment comportant plusieurs zones (avec des thermostats indépendants), la somme des charges de pointe en climatisation de chaque zone (qui ne survient pas en même temps à cause des gains solaires, des profils d'occupation, etc., qui changent avec le temps) excède généralement la charge de pointe en climatisation du bâtiment. La pointe en climatisation du bâtiment survient à

un moment précis, alors que ce ne sont pas toutes les zones du bâtiment qui sont en pointe de climatisation. Pour les bâtiments résidentiels, la charge globale de climatisation est normalement la somme des charges de climatisation de toutes les pièces sous les mêmes conditions de température.

La charge de pointe en climatisation est spécifique à chaque projet. Elle dépend des paramètres architecturaux entrés par l'utilisateur, des caractéristiques du site et du type de bâtiment. Typiquement, les charges de pointe en climatisation peuvent varier de 50 W/m² pour des bâtiments résidentiels dans un climat tempéré, à plus de 200 W/m² pour des bâtiments commerciaux avec des gains internes importants dans un climat chaud.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la charge de calcul en climatisation dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « MW », « million Btu/h », « hp chaudière », « tonne de réfrigération », « hp », « W ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Demande annuelle d'énergie en climatisation

Si l'utilisateur a sélectionné « Architecturale » pour le sujet « Information disponible sur le bâtiment », le modèle calcule la demande annuelle d'énergie en climatisation en se basant sur les différents paramètres entrés par l'utilisateur. Cette valeur est exprimée en MWh.

La demande annuelle d'énergie en climatisation du bâtiment correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour climatiser le bâtiment. Cette valeur est utilisée pour générer les équations présentées dans la figure Relation entre les charges de chauffage et les charge de climatisation qui serviront à déterminer la consommation énergétique du bâtiment en mode climatisation.

La demande annuelle d'énergie nécessaire à la climatisation du bâtiment est utilisée par le modèle en combinaison avec le COP saisonnier d'un système de climatisation standard (qui représente le cas de référence), pour calculer le coût annuel de référence en énergie pour la climatisation.

Conversion d'unités : L'utilisateur peut choisir d'exprimer la demande annuelle d'énergie en climatisation dans une autre unité en sélectionnant parmi la liste d'unités proposées : « GWh », « Gcal », « million Btu », « GJ », « therm », « kWh », « hp-h », « MJ ». Cette valeur est donnée à titre de référence seulement et n'est pas requise pour exécuter le modèle.

Note : Arrivé à ce point, l'utilisateur retourne à la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Analyse des coûts[1]

Dans cette section du logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres, la feuille de calcul *Analyse des coûts* aide l'utilisateur à estimer les coûts liés à un projet de pompe à chaleur géothermique. Le modèle considère les coûts d'investissement et les frais annuels. Il existe deux façons de rentrer les données dans la feuille de calcul selon qu'il s'agit d'une analyse de préfaisabilité ou de faisabilité. La feuille de calcul d'une analyse de faisabilité sera plus détaillée que la feuille de calcul d'une analyse de préfaisabilité. Généralement, pour un projet résidentiel, l'utilisateur choisira l'option « Préfaisabilité » dans la liste déroulante de la rubrique « Type d'analyse ». Pour plus d'information l'utilisateur peut aussi consulter la base de données de produits en ligne RETScreen. Cette base de données inclut les coordonnées de fournisseurs qui pourront vous donner des prix ou toute autre information.

La sélection du meilleur type de pompe à chaleur géothermique dépend d'un certain nombre de facteurs. Un guide de sélection sommaire est présenté ci-après pour aider l'utilisateur à faire ce choix.

- Pompe à chaleur à eaux souterraines : On sélectionne ce type de pompe à chaleur lorsque qu'une source d'eau souterraine de qualité adéquate est disponible en quantité suffisante et qu'un permis permet ce type d'installation (il faut donc vérifier les règlements environnementaux ou municipaux qui concernent le site du projet). En général, ce type de pompe à chaleur est financièrement attrayant pour les gros bâtiments car le coût du forage des puits n'augmente pas linéairement avec la capacité du système.

- Pompe à chaleur à boucles fermées verticales : On utilise généralement ce type de pompe pour des bâtiments de six étages et moins à cause des limitations mécaniques des tuyaux de la boucle de l'échangeur enfoui qui ne peuvent résister aux pressions statiques élevées [ASHRAE, 1995]. Il est par contre possible d'utiliser de la tuyauterie plus résistante mais plus coûteuse et plus difficile à manipuler. Généralement, pour une capacité de refroidissement de plus de 350 à 700 kW, la surface typique d'un terrain de stationnement (souvent utilisé pour ce genre d'installation), n'est pas suffisante pour dissiper la chaleur sans l'ajout d'un autre puits de chaleur, tel une tour de refroidissement. Les PAC géothermiques à boucles fermées verticales sont souvent utilisées au niveau résidentiel.

- Pompe à chaleur à boucle fermée horizontale : Ce type de pompe n'a pas de limitations mécaniques au niveau de la boucle de l'échangeur tel que décrit pour la pompe à boucles fermées verticales. Par contre, elle requiert une plus grande surface de terrain. Lorsque la capacité de refroidissement dépasse 35 à 70 kW, la surface typique d'un terrain de stationnement (souvent utilisé pour ce genre d'installation), n'est pas suffisante pour dissiper la chaleur sans l'ajout d'un autre puits de chaleur, tel une tour de refroidissement. Les coûts initiaux d'une PAC géothermique à échangeur horizontal sont généralement plus bas. Par contre, elle offre des performances saisonnières (en chauffage) plus basses à cause de la

[1] On rappelle à l'utilisateur que la plage de coût indicative donnée dans cette version de RETScreen est exprimée en $ canadiens, basés sur les prix de 2000. Certains prix peuvent fortement varier dans le temps, aussi, l'utilisateur doit s'assurer de leur validité. (1 $ canadien valait environ 0,68 $US et 0,68 Euro au 1er janvier 2000).

température de surface du sol qui est plus basse en hiver. Les caractéristiques de cette pompe à chaleur conviennent généralement bien au niveau résidentiel.

L'application la plus avantageuse pour l'installation de pompe à chaleur géothermique est la construction neuve où la conception du bâtiment permettra de maximiser les avantages de cette technologie. L'utilisation de pompe à chaleur géothermique peut aussi être avantageuse dans les édifices existants, plus particulièrement lorsque des rénovations majeures sont prévues pour remplacer le système de chauffage ou de climatisation. On pourra alors bénéficier de « Crédits » tout comme pour le cas de la construction neuve.

En général, pour tout projet de pompe à chaleur géothermique, on bénéficie de « Crédits » pour le matériel et la main-d'œuvre. Ces crédits correspondent aux coûts qui auraient été de toute façon dépensés pour l'installation d'un système conventionnel de chauffage ou de climatisation. L'utilisateur doit estimer ces coûts initiaux de façon à obtenir une évaluation financière réaliste. Des crédits peuvent aussi s'appliquer sur certaines activités d'ingénierie, de développement et même sur les coûts annuels. Le modèle prévoit des cellules d'entrées sur fond gris qui permettent d'identifier des crédits pour l'ensemble des activités liées à l'installation de PAC géothermique de façon à permettre à l'utilisateur de faire une analyse des coûts la plus réaliste possible.

Type d'analyse

L'utilisateur choisit le type d'analyse à partir de la liste déroulante. Pour une « analyse de préfaisabilité », le modèle exige des estimations moins détaillées et moins précises, alors qu'une « analyse de faisabilité » exige généralement plus détails et de précision dans les estimations.

Pour mieux comprendre le contexte, il faut se placer dans la situation dans laquelle on se trouve lorsque l'on présente une demande de financement d'un projet énergétique à un organisme de prêt ou de subvention. Il est vraisemblable que les premières questions qui seront posées tourneront autour de « Est-ce que votre évaluation des coûts est précise ? Quelle est la probabilité qu'il y ait un dépassement des coûts ? Comment ce projet se compare-t'il financièrement à d'autres options ? » Il est très difficile de répondre à ces questions avec un quelconque niveau de confiance. En effet, quiconque aura préparé les données d'un tel projet aura eu à se débattre entre deux contradictions :

- Maintenir à un faible niveau les frais de développement du projet, au cas où son financement ne pourrait pas être réalisé, ou au cas où le projet s'avérerait non rentable en comparaison d'une autre option énergétique.

- Engager des frais de conception et du temps additionnels, afin de pouvoir évaluer avec plus de précision et de confiance les coûts du projet et de connaître plus précisément les quantités d'énergie économisées ou produites par le projet.

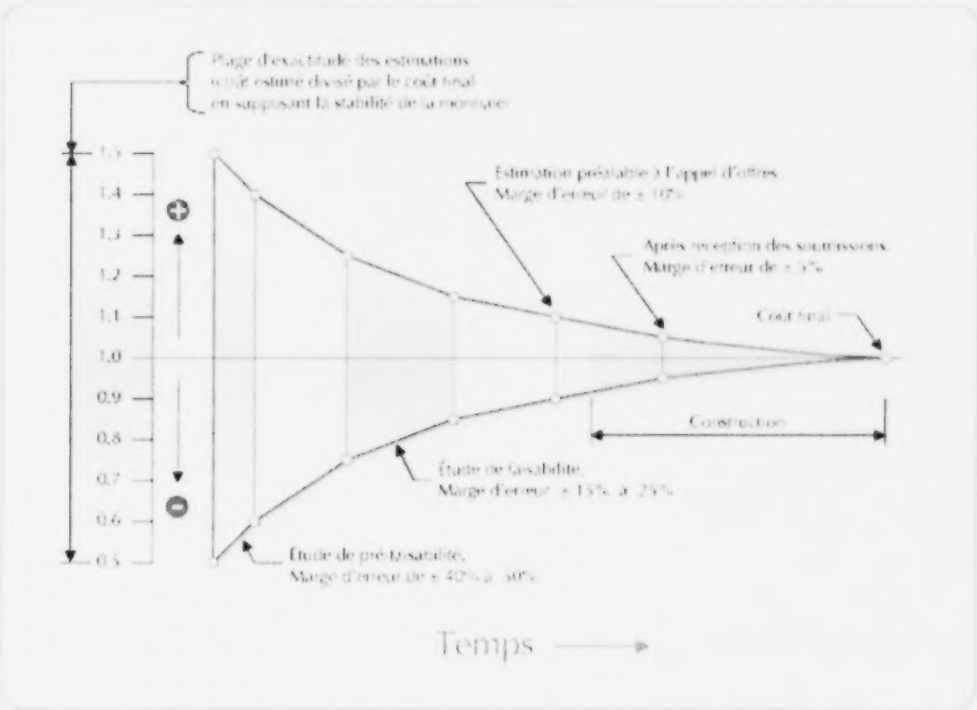
Pour éviter autant que possible la situation d'avoir à choisir entre les deux positions, il est habituellement recommandé de faire progresser le projet selon les quatre étapes suivantes :

- Analyse de préfaisabilité

- Analyse de faisabilité
- Développement (incluant le montage financier) et conception
- Construction et mise en service

En passant d'une étape à l'autre, on peut augmenter plus ou moins d'un ordre de grandeur les montants à engager pour les compléter. Mais à chaque fois aussi, le niveau d'incertitude dans l'estimé des coûts du projet est réduit environ de moitié. Ce processus est illustré dans la figure d'exactitude des estimations de coûts de projets [Gordon, 1989], qui s'applique aux projets hydroélectriques.

À la fin de chaque étape, le promoteur du projet considère généralement être arrivé à un point où il doit décider s'il passe ou non à l'étape suivante du projet. Des études de préfaisabilité et de faisabilité de haute qualité, mais à coût abordable, sont donc très importantes aux yeux des promoteurs car elles leur permettent d'éliminer plus rapidement des projets qui n'ont pas de sens au plan financier, mais aussi d'identifier, avant même de s'engager dans la construction, sur quels points particuliers il vaut mieux consacrer ses efforts lors du développement et de la conception du projet. Le logiciel RETScreen d'analyse de projets sur les énergies propres peut être aussi bien utilisé pour préparer une première analyse de préfaisabilité que pour préparer une analyse de faisabilité plus détaillée.



Exactitude des estimations de coûts de projets [Gordon, 1989]

Devise

L'analyse d'un projet avec RETScreen peut se faire dans n'importe quelle monnaie choisie dans la cellule « Devise » de la feuille de calcul *Analyse des coûts*.

L'utilisateur sélectionne la devise. Ce choix se répercutera sur toutes les cellules où des coûts sont impliqués dans le projet d'analyse. Par exemple, si l'utilisateur choisit « $ », tous les champs d'ordre monétaire seront exprimés en $.

L'option « Définie par l'utilisateur » permet d'entrer manuellement un autre symbole monétaire dans une cellule voisine à la liste déroulante « Devise ». L'entrée est limitée à 3 caractères (p. ex. $US, £, ¥, etc.). Cette option offre aussi la possibilité d'utiliser des facteurs multiplicatifs qui aident la lecture des données financières de projets d'envergure (par exemple k $ permet d'éliminer un facteur 1 000 dans la présentation des coûts en $).

L'utilisateur peut également choisir « Aucune » pour n'utiliser aucune devise. Dans le cas des valeurs normalisées (p. ex. $/kWh), l'unité monétaire sera remplacée par un tiret (-/kWh).

En désignant un pays dans la liste déroulante, on obtient automatiquement le code de devise à trois lettres de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), par exemple AFA pour l'Afghanistan. Généralement, les deux premières lettres caractérisent le pays (AF pour Afghanistan) et la dernière la monnaie (A pour Afghani).

Dans certains projets (par exemple lorsque plusieurs équipements sont importés mais que le reste du projet est acheté localement), il peut être pratique d'utiliser deux monnaies différentes. Pour ce faire, l'utilisateur peut utiliser l'option « Deuxième devise » dans la liste déroulante de la cellule « Coûts de référence ».

Certains symboles de devises peuvent être difficiles à lire à l'écran (p. ex. €); ce problème est causé par la valeur du zoom applicable à la feuille de calcul. L'utilisateur peut augmenter le zoom de façon à voir correctement ces symboles. Habituellement, les symboles sont bien lisibles à l'impression même s'ils n'apparaissent pas correctement à l'écran.

Coûts de référence

Dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*, l'utilisateur peut choisir différentes bases de référence pour l'aider à estimer les coûts d'implantation d'un projet. Il a ainsi la possibilité de modifier les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » en utilisant l'une des 3 options suivantes : « Canada - 2000 », « Aucun », « Deuxième devise », ou un choix de 8 options définies par l'utilisateur (« Entrée 1 », « Entrée 2 », etc.).

Si l'utilisateur choisit « Canada - 2000 » les plages de valeurs données dans les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » concernent des projets au Canada, avec des coûts en $ canadiens, valides en 2000.

Si l'utilisateur choisit « Aucun », les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » sont cachées. Cela permet d'alléger la présentation d'un rapport utilisant les feuilles de calcul RETScreen.

Si l'utilisateur choisit « Deuxième devise », deux nouvelles cellules d'entrée de données apparaissent à la ligne suivante : « Deuxième devise » et « Taux : 1re devise/2e devise ». De plus, les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » sont chacune remplacées par « % étranger » et « Montant étranger ». Cette option permet à l'utilisateur d'exprimer certains coûts du projet en une seconde devise, tenant ainsi compte des montants qui doivent être payés dans une devise autre que celle choisie pour l'analyse de projet. Bien noter que ces colonnes sont données à titre indicatif seulement et n'ont aucune incidence sur les calculs et l'analyse des autres feuilles de calcul.

Si l'utilisateur choisit « Entrée 1 » (ou un quelconque des 8 autres choix possibles), il peut entrer manuellement d'autres valeurs de quantités ou de coûts, spécifiques à la région d'implantation du projet, ou pour une autre année de référence des coûts. L'utilisateur peut ainsi personnaliser le contenu des colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût ». Au lieu d'entrer « Entrée 1 » l'utilisateur peut écrire ce qu'il veut (p. ex. Japon - 2001) pour décrire de nouvelles plages de coûts et de quantités. L'utilisateur peut aussi utiliser plusieurs plages de coûts et quantités dans un même projet (on peut en choisir jusqu'à 8 différentes), permettant d'évaluer en parallèle jusqu'à 8 scénarios différents de coûts et quantités qui peuvent être utilisés à titre de référence pour des analyses ultérieures avec RETScreen, créant ainsi une nouvelle base locale de données de référence.

Deuxième devise

Dans certains projets (par exemple lorsque plusieurs équipements sont importés mais que le reste du projet est acheté localement), il peut être pratique d'utiliser une deuxième unité monétaire. Pour ce faire, l'utilisateur choisira « Deuxième devise » dans la liste déroulante de la cellule « Coûts de référence ».

L'option « $ » fait apparaître « $ » comme unité monétaire dans la colonne « Montant étranger ».

L'option « Définie par l'utilisateur » permet d'entrer manuellement d'autres symboles monétaires dans la cellule de la liste déroulante. On devra se limiter à 3 caractères (p. ex. $US, £, ¥, etc.). Cette option offre aussi la possibilité d'utiliser des facteurs multiplicatifs qui aident la lecture des données financières de projets d'envergure (par exemple k $ permet d'éliminer un facteur 1 000 dans la présentation des coûts en $).

En choisissant « Aucune », il n'y a aucun symbole monétaire qui apparaîtra dans la colonne « Montant étranger ».

En désignant un pays dans la liste déroulante, on obtient automatiquement le code de devise à trois lettres de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), par exemple AFA pour l'Afghanistan. Généralement, les deux premières lettres caractérisent le pays (AF pour Afghanistan) et la dernière la monnaie (A pour Afghani).

Certains symboles de devises peuvent être difficiles à lire à l'écran (p. ex. €); ce problème est causé par la valeur du zoom applicable à la feuille de calcul. L'utilisateur peut augmenter le zoom de façon à voir correctement ces symboles. Habituellement, les symboles sont bien lisibles à l'impression même s'ils n'apparaissent pas correctement à l'écran.

Taux : 1re devise/2e devise

L'utilisateur indique le taux de change entre la monnaie choisie dans « Devise » et celle de « Deuxième devise ». Ce taux de change sert uniquement à calculer les montants de la colonne « Montant étranger » et n'affecte aucunement les résultats des autres feuilles de calcul. Ce taux de change exprime la quantité d'argent de la première unité monétaire nécessaire à l'achat d'une unité de la deuxième monnaie.

Par exemple, pour un projet en Afghanistan, la « Devise » choisie pour le projet (la « première » monnaie) serait (AFA). Si l'utilisateur choisit les États-Unis (USD) comme « Deuxième devise », le « Taux : AFA/USD » est la quantité d'AFA nécessaire pour obtenir 1 USD. En utilisant ensuite la colonne « % étranger », l'utilisateur pourra automatiquement calculer les coûts de ce projet qui devront être payés en USD.

% étranger

L'utilisateur entre le pourcentage du coût d'un composant qui doit être payé dans une autre monnaie. La deuxième devise est choisie dans la liste déroulante qui est offerte dans la nouvelle cellule « Deuxième devise ».

Montant étranger

Le modèle calcule le montant d'un composant ou d'un service qui devra être payé dans la deuxième devise. Cette valeur dépend du taux de change et du pourcentage du coût d'un composant qui doit être payé dans une autre monnaie tel que spécifiés par l'utilisateur.

Coûts d'investissement (crédits)

Les coûts initiaux de mise en œuvre d'un projet de pompe à chaleur géothermique sont exposés en détail dans cette section. Ils entrent dans les catégories suivantes : étude de faisabilité, développement, travaux de conception et d'ingénierie, achat et installation des équipements énergétiques, implantation des infrastructures connexes, et coûts divers.

Étude de faisabilité

Quand l'analyse de préfaisabilité effectuée à l'aide du modèle RETScreen conclut que le projet de pompe à chaleur géothermique peut être rentable, une étude de faisabilité plus détaillée peut être requise. Cette étude plus détaillée est souvent indispensable pour des projets de plus grande importance, de l'ordre de 100 kW et plus. En général, l'étude de faisabilité comprend l'inspection du site, la vérification du sol et de son hydrologie, la conception préliminaire incluant le

dimensionnement de l'échangeur de chaleur avec le sol (boucle fermée ou puits), l'implantation des installations et la production d'un rapport final. De plus, il faut habituellement prendre aussi en compte les coûts de voyages et d'hébergement liés à l'étude de faisabilité. Les paragraphes ci-dessous décrivent en détail les coûts de tous les aspects de cette étude. Ces coûts sont détaillés ci-après.

Pour de petits projets, par exemple de type commercial, les coûts liés à une étude de faisabilité peuvent ne pas être justifiés. Dans ce cas, on passe directement à l'étape du développement et de l'ingénierie.

Note : Le logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres peut servir à préparer une étude de faisabilité.

Inspection du site

Lorsqu'on envisage d'équiper un bâtiment existant d'une pompe à chaleur géothermique, il est souvent indiqué de procéder à une inspection des lieux pour évaluer les conditions au site et déterminer s'il est opportun de donner suite au projet. Dans le cas d'une construction neuve, cette visite peut être requise pour évaluer si le terrain est propice pour y creuser un puits ou y installer une boucle fermée verticale ou horizontale.

L'inspection doit être menée par un expert et devra permettre de vérifier les suppositions faites au cours de l'étude de préfaisabilité et de recueillir les données nécessaires à la conception finale du système. On inspectera le site pour déterminer ou vérifier les caractéristiques architecturales du bâtiment (dimensions, niveau d'isolation, etc.), le système de chauffage et de climatisation (cas de rénovation), l'emplacement du terrain où l'on installera la boucle fermée ou le puits. On vérifiera aussi les documents légaux qui donnent au propriétaire l'accès au terrain ou le droit d'exploitation d'un puits. Généralement, l'inspection du site comprend le temps nécessaire à préparer les rencontres, à cueillir les données, à obtenir l'information demandée et au temps de déplacement (mais pas les coûts de déplacement que l'on retrouvera sous la rubrique « Voyages et hébergement »).

Pour un projet de rénovation, le temps requis pour l'inspection du site varie selon la grosseur du bâtiment et selon la complexité du système de chauffage et de climatisation. Le temps nécessaire à la cueillette des données avant et pendant l'inspection des lieux, comprenant aussi le temps requis pour obtenir les données de consommation, varie de 14 à 21 heures (temps de déplacement en sus). Les honoraires des experts vont généralement de 40 $ à 100 $ l'heure, selon leur degré d'expérience. Pour la construction neuve, où les données peuvent être recueillies à partir des dessins d'architecture et d'ingénierie, le temps nécessaire varie de 7 à 14 heures (temps de déplacement en sus pour recueillir les données) au même taux horaire que précédemment.

Dans le cas particulier de projets de pompe à chaleur géothermique utilisée pour des applications en pergélisol, les coûts pour l'inspection du site seront estimés selon une approche de « cas par cas ».

Analyse du sol et de l'hydrologie

La majorité des sols offrent la possibilité d'installer un ou plusieurs types d'échangeur souterrain (en boucle ouverte ou fermée). Par contre certains sols sont moins avantageux selon le type d'échangeur utilisé car ils peuvent générer des coûts plus élevés lors du terrassement ou du forage. Dans des cas extrêmes, un sol peut ne pas convenir à aucun type d'échangeur de pompe à chaleur géothermique. Pour ces raisons, une étude géotechnique et/ou hydrologique du sol est requise. Une vérification géotechnique du sol sera effectuée si on envisage l'utilisation d'une pompe à chaleur avec boucle fermée horizontale ou verticale, tandis qu'une vérification hydrologique du sol sera effectuée si on envisage l'utilisation d'une pompe à chaleur à eaux souterraines qui nécessitera le forage d'un puits. Le type de vérification du sol et son coût, dépendra donc du type d'échangeur de chaleur avec le sol utilisé.

En général, une pompe à chaleur à eaux souterraines demande une évaluation plus poussée. Dans ce cas, une évaluation hydrologique faite par un expert est requise et doit inclure :

- Une vérification de toutes les réglementations pertinentes à l'installation et l'exploitation d'un puits au site du projet ;
- Une révision de l'information existante aux niveaux géologique et hydrologique pour le site du projet ; et
- Une vérification du sous-sol par forage d'inspection.

Le nombre de forages d'inspection est lié à la puissance du système de PAC géothermique. Pour des bâtiments dont la surface de plancher est inférieure à 3 000 m², un forage est suffisant. Pour de plus grands bâtiments, au moins deux forages seront nécessaires.

Une vérification géotechnique du sol est généralement suffisante pour vérifier si on peut implanter une pompe à chaleur avec boucle fermée verticale ou horizontale sur un terrain particulier. Si la boucle est verticale, il est généralement avantageux de compléter l'étude par une évaluation hydrologique. Cette évaluation permettra de vérifier la qualité de l'eau souterraine avant même de procéder à l'installation de l'échangeur vertical. Cette évaluation pourra éventuellement protéger le propriétaire du système d'être tenu responsable de toute contamination du puits, si on peut prouver que cette contamination précédait l'installation de l'échangeur.

Une vérification géotechnique pour une pompe à chaleur avec boucle verticale consiste à faire des forages d'inspection qui sont au moins de 15 m plus profond que la boucle elle-même. Pour un bâtiment de moins de 3 000 m², un forage est suffisant. Pour de plus grands bâtiments, deux forages doivent être pratiqués.

Une vérification géotechnique, pour une application de pompe à chaleur à échangeur horizontal, consiste à effectuer des tranchés d'essai afin de vérifier les conditions et la composition du sol sous la surface. Pour un échangeur horizontal couvrant une surface de moins d'un hectare, un minimum de quatre tranchés d'échantillonnages sont recommandés. Pour un échangeur

horizontal couvrant une surface de plus de deux hectares, deux tranchés d'échantillonnage par hectare sont recommandés [ASHRAE, 1995].

Le temps nécessaire pour procéder à de telles vérifications varie de 60 à 120 heures pour une pompe à chaleur à eaux souterraines, 35 à 80 heures pour une pompe à chaleur avec boucle verticale et de 20 à 50 heures pour une pompe à chaleur avec boucle horizontale. Les honoraires des experts vont généralement de 40 $ à 100 $ l'heure, selon leur degré d'expérience. Il faut ajouter à ces coûts, les coûts de forage d'inspection ou les trous d'échantillonnage de surface.

Pour les régions isolées et pour les applications en pergélisol, prévoir de 1 à 1,5 fois les taux conventionnels. Se référer à la rubrique « Voyages et hébergement » pour les coûts additionnels. Tout comme pour l'inspection du site, la vérification du sol est effectuée lorsque les conditions climatiques le permettent.

Conception préliminaire

L'étape de conception préliminaire, qui combine l'information présentée ci-dessus, est nécessaire pour évaluer le potentiel de production énergétique de la pompe à chaleur. Pour limiter les coûts, la conception préliminaire doit se faire en utilisant les méthodes standards et les outils de simulation informatique existants. La conception préliminaire doit permettre d'établir avec plus de précision les charges thermiques du bâtiment, la sélection des pompes à chaleur selon chacune des zones à desservir, le diamètre et la longueur de la boucle horizontale ou verticale et le débit d'eau requis par la pompe à chaleur.

Le coût pour réaliser la conception préliminaire de l'installation dépend de la grosseur du bâtiment et de la complexité du système de chauffage et de climatisation. Le temps nécessaire pour réaliser la conception se situe ordinairement entre 5 et 40 heures à un taux variant entre 60 $ et 100 $ l'heure.

Les projets de pompe à chaleur géothermique utilisée pour des applications en pergélisol sont considérés comme des cas particuliers. Le temps requis pour réaliser la conception préliminaire de ces projets nécessite donc des évaluations cas par cas. Par contre, le taux horaire de conception reste du même ordre de grandeur que pour les autres types d'applications de pompe à chaleur géothermique.

Estimation détaillée des coûts

L'estimation des coûts détaillés est basée sur les résultats de la conception préliminaire et des données recueillies lors des autres activités de l'étude de faisabilité.

Le taux horaire pour estimer les coûts détaillés d'un projet de pompe à chaleur peut varier entre 60 $ et 100 $ l'heure. Le nombre d'heures requis pour estimer les coûts détaillés est situé entre 7 et 35 heures et dépend de la grosseur du projet, de la complexité du système et du niveau de risque acceptable.

Préparation du rapport

Il est conseillé de produire un rapport sommaire exposant les résultats de l'étude de faisabilité et incluant des recommandations. Le rapport complet doit décrire clairement le projet au moyen de sommaires de données, de graphiques, de tableaux et d'illustrations. Il devrait présenter les coûts ainsi que le rendement et les risques prévus de façon suffisamment détaillée pour permettre aux investisseurs et aux autres décideurs d'évaluer le projet.

Le calcul du coût de préparation du rapport est basé sur une estimation du temps dont un spécialiste a besoin ; il convient de prendre en considération également le temps de gestion associé à la préparation de l'étude de faisabilité globale. Pour un rapport d'étude de faisabilité, il faut typiquement compter entre 16 et 32 heures de travail, les honoraires étant toujours de 60 $ à 100 $ l'heure.

Voyages et hébergement

Entrent sous cette rubrique tous les frais de déplacement (n'incluant pas le temps (honoraires professionnels)) engagés pour l'exécution de toutes les phases de l'étude de faisabilité par les divers membres de l'équipe : prix des billets d'avion, frais de location de véhicules et d'hébergement, indemnités journalières pour frais divers. Il se peut que le fournisseur n'exige pas de frais de déplacement lorsqu'il n'a pas à sortir de la région immédiate de sa localité. Dans les cas de projets situés en régions isolées, qui exigent des frais de transport aérien et un temps de déplacement appréciables, il est préférable de grouper plusieurs projets dans une même étude de faisabilité de manière à répartir les coûts.

Les tarifs de transport aérien vers les régions isolées sont très variables, mais ils équivalent généralement au double des tarifs exigés pour des trajets comparables dans les régions peuplées. Étant donné que les déplacements comptent pour une part importante des dépenses à engager pour l'exécution d'un projet dans ces localités et que les tarifs sont très variables, il est conseillé de recourir aux services d'un agent de voyages ayant l'expérience de ce genre de destination. De même, à ces endroits, les tarifs d'hébergement de catégorie moyenne sont en général deux fois plus élevés que ceux pratiqués dans les régions peuplées, soit de 180 $ à 250 $ par jour, (prévoir des faux frais additionnels entre 35 $ et 70 $ par jour).

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des

différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Développement

Lorsque l'étude de faisabilité (ou parfois l'étude de préfaisabilité) montre que le projet de pompe à chaleur géothermique est viable, on peut entreprendre la phase de développement. Dans certains cas, l'étude de faisabilité et les activités de développement et d'ingénierie peuvent se dérouler en même temps, selon le niveau de risque et de rendement de l'investissement que le promoteur juge acceptable.

Il existe divers types de promoteurs de projet de pompe à chaleur géothermique. Actuellement, il est courant de voir un fournisseur local de pompe à chaleur géothermique prendre en charge des projets clés en main pour le compte de propriétaires de bâtiments. Des entrepreneurs généraux peuvent également s'en charger, auquel cas ils font l'acquisition du système pour le compte du client. Des entreprises de services énergétiques (ESCO) peuvent prendre en charge le coût du système ainsi que celui de son installation, à la place du propriétaire, en retour d'une partie des économies ou de la production d'énergie annuelles. Les coûts liés aux activités de développement des projets de pompe à chaleur géothermique ont généralement trait aux aspects suivants : approbations et permis, arpentage du terrain, financement du projet, gestion du projet, voyages et hébergement. Ces coûts sont décrits en détail ci-après.

Approbations et permis

L'exécution du projet peut nécessiter plusieurs approbations et permis comme ceux délivrés par les agences locales, tels les agences de la construction, de l'électricité, des risques d'incendies et de la réglementation environnementale. Le calcul du coût d'obtention des approbations et des permis nécessaires repose sur une estimation du temps que prendra un spécialiste pour exécuter le travail.

En régions isolées, l'approbation par le conseil de bande local peut aussi être exigée. Le coût de l'approbation elle-même est en général négligeable par rapport au coût global du projet, mais on doit compter le temps requis pour l'obtenir.

Le temps nécessaire pour l'obtention des approbations et des permis repose sur le nombre d'agences à contacter et de l'information spécifique requise pour rencontrer la réglementation. Pour un projet de pompe à chaleur géothermique, on peut généralement compter entre 4 et 12 heures, à un tarif compris entre 40 $ et 100 $ l'heure. L'utilisateur peut également ajouter au nombre d'heures, ou aux coûts unitaires, le coût du permis lui-même qui représente habituellement une fraction relativement modeste du coût global du projet.

Arpentage

Étant donné les grandes surfaces de terrain qui sont nécessaires pour certains projets de pompe à chaleur géothermique avec boucle fermée horizontale, il est parfois indispensable de faire arpenter le terrain pour s'assurer que l'échangeur sera localisé en totalité sur le terrain du propriétaire.

Typiquement, le coût pour faire arpenter un lot de 1 à 10 hectares est de l'ordre de 750 $. Ce coût peut varier en fonction des frais de déplacement et d'hébergement de l'arpenteur. Typiquement, le temps pour arpenter un terrain peut prendre entre 0 et 30 heures à un tarif compris entre 50 $ à 80 $ l'heure.

Le temps d'arpentage en régions isolées est typiquement du même ordre de grandeur qu'en régions peuplées. Il faut par contre considérer les frais de transport aérien, le temps de déplacement et les frais d'hébergement qui seront plus élevés qu'en régions peuplées. Prévoir un tarif compris entre 80 $ et 120 $ pour les régions éloignées.

Financement du projet

Le temps et l'énergie requis pour organiser le financement d'un projet dépendent du promoteur et du type de service assuré au client. Dans la plupart des cas, le client étant le propriétaire du bâtiment et le promoteur le fournisseur de pompe à chaleur géothermique, les frais associés au financement du projet sont minimes. Habituellement, le propriétaire du bâtiment finance le projet à même ses budgets d'investissement et d'exploitation et le fournisseur apporte un soutien non monétaire au montage financier du projet. Lorsque le promoteur est une entreprise de services énergétiques (ESCO), les efforts à consentir pour régler les questions financières, négocier des contrats de fourniture d'énergie avec le propriétaire du bâtiment et préparer les documents juridiques appropriés seront probablement plus importants.

L'organisation du financement d'un projet nécessite entre 8 et 24 heures de travail, à un tarif compris entre 60 $ et 180 $ l'heure. Les projets menés par un tandem propriétaire de bâtiment-fournisseur de pompe à chaleur géothermique nécessitent des frais de financement moins élevés, tandis que ceux réalisés par l'intermédiaire d'une entreprise de services énergétiques (ESCO) coûtent plus cher.

Gestion du projet

Le coût de gestion du projet devrait comprendre les frais estimés de gestion pour toutes les étapes de développement du projet, excluant la supervision des travaux de construction.

La phase de développement d'un projet de pompe à chaleur géothermique est relativement courte. Elle peut certainement être terminée en une année tout au plus, les travaux de construction ne nécessitant que quelques semaines, sauf pour des projets de très grande envergure. La gestion du projet exigera habituellement de 20 à 40 heures, à raison de 50 $ à 100 $ l'heure.

Voyages et hébergement

Cette rubrique comprend tous les coûts reliés aux déplacements, sauf le temps, pendant la phase de développement.

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Ingénierie

La phase d'ingénierie comprend les frais engagés pour la conception du système de pompe à chaleur géothermique, l'élaboration des appels d'offres et des contrats, et la surveillance des travaux de construction. Lorsque la réalisation des travaux est régie par un contrat de type ingénierie-construction, tous ces frais sont facturés par le fournisseur ou l'entrepreneur chargé du projet. Dans le cas d'un projet attribué sur appel d'offres fondé sur un devis préparé par un consultant, il faudra compter des frais d'ingénierie facturés par le consultant chargé de la supervision du projet et peut-être aussi par le fournisseur du matériel.

Conception du système

Sous cette rubrique sont comptés le temps consacré à la conception du système de pompe à chaleur géothermique, comprenant la boucle fermée horizontale, verticale ou le puits, la tuyauterie-plomberie, l'électricité, la préparation des dessins techniques et l'élaboration du devis comprenant les modifications à faire sur le bâtiment existant. Pour les petits projets de configuration standard, on peut souvent se contenter d'utiliser des schémas de principes généraux d'installation, auquel cas on peut ne pas avoir à compter des frais de conception.

La conception d'un système de pompe à chaleur géothermique et la préparation des dessins techniques détaillés peuvent prendre entre 5 et 80 heures : 5 heures pour un petit projet commercial, tout juste plus gros qu'un projet résidentiel, jusqu'à 80 heures pour un gros projet commercial, lorsqu'il faut préparer des dessins techniques et des plans d'installation détaillés. Les honoraires des concepteurs de systèmes de pompe à chaleur géothermique vont habituellement de 40 $ à 100 $ l'heure.

Les projets de pompe à chaleur géothermique utilisée pour des applications en pergélisol sont considérés comme des cas particuliers. Le temps requis pour réaliser la conception de ces projets nécessite donc des évaluations cas par cas. Par contre, le taux horaire de conception reste du même ordre de grandeur que pour les autres types d'applications de pompe à chaleur géothermique.

Appels d'offres et contrats

Habituellement, quand les travaux de génie sont terminés, on produit des documents d'appel d'offres pour choisir les entrepreneurs qui exécuteront les travaux. Une fois les appels d'offres lancés, s'engage le processus d'adjudication de contrats qui implique des négociations et l'établissement des relations nécessaires à l'exécution du projet.

Le temps nécessaire pour produire les documents d'appel d'offres varie selon la complexité et la taille du projet. S'il faut passer par le processus d'appel d'offres, il faut compter entre 20 et 40 heures, à raison de 40 $ à 100 $ l'heure.

Surveillance des travaux

Les coûts de supervision des travaux de construction comprennent tous les coûts qu'on engagera pour veiller à ce que les installations soient construites conformément aux plans et devis. Cette supervision peut être assurée par le consultant chargé du projet, le fournisseur de l'équipement ou le gestionnaire du projet ; elle nécessite des inspections régulières du chantier.

Le temps consacré à la supervision de la construction peut atteindre entre 15 et 40 heures, selon la taille du projet. Les tarifs pratiqués vont de 40 $ à 100 $ l'heure. Le temps de déplacement sur le site pour la mise en route du système est à ajouter au temps prévu. Quant aux frais de déplacement, ils devraient être pris en compte à la rubrique « Développement ».

À cause des coûts importants reliés aux déplacements en région isolée, on peut réduire le nombre de visites sur de tels chantiers tout en augmentant la durée de la visite. Une surveillance permanente du début à la fin des travaux peut aussi être considérée en régions isolées.

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou

négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Équipements énergétiques

Le sujet « Équipements énergétiques » comprend, selon le cas, les coûts des (ou de la) pompes à chaleur, des pompes de puits, des pompes de circulation, du fluide caloporteur, des échangeurs de chaleur, de terrassement (creusage et remblayage de surface), du forage et de l'injection de coulis, de la tuyauterie de l'échangeur souterrain, des valves et des raccords et de tous les coûts de transport associés au système. Tous les coûts présentés dans cette section comprennent l'installation, les frais généraux et les profits. L'utilisateur peut consulter la base de données de produits en ligne RETScreen pour contacter des fournisseurs et ainsi obtenir des prix ou toute autre information.

Certains accessoires spécifiques tels que ceux utilisés pour les équipements électriques et les contrôles n'apparaissent pas dans cette section. On suppose que leur coût est équivalent aux autres accessoires que l'on peut retrouver dans un système standard et que leur impact est négligeable sur le coût global du système.

Dans le cas où de la machinerie lourde et/ou spécialisée serait requise mais non disponible localement (p. ex. dans des régions isolées) pour réaliser l'installation du système, des coûts de transport supplémentaires doivent être ajoutés sous la rubrique « Autres ».

Pompes à chaleur

Le coût unitaire de base pour une unité de pompe à chaleur géothermique est de l'ordre de 235 $ par kW de puissance de refroidissement. Cependant, le coût sera fonction du niveau d'efficacité recherché, tel que montré dans le tableau. L'utilisateur peut consulter la base de données de produits en ligne RETScreen pour contacter des fournisseurs et ainsi obtenir des prix ou toute autre information.

Pompe à chaleur niveau d'efficacité	Coûts typiques $/kW frigorifique
Standard	235 $
Moyen	270 $
Élevé	330 $

Coût de pompes à chaleur géothermique

La puissance suggérée de climatisation (capacité de refroidissement totale), basée sur les caractéristiques du bâtiment, est copiée automatiquement de la feuille de calcul du *Modèle énergétique*. Le coût unitaire peut être plus bas que celui indiqué sur le tableau si de grosses unités de pompe à chaleur géothermique sont utilisées. Par contre, son coût unitaire peut être plus élevé pour de plus petites unités. Par exemple, une pompe à chaleur géothermique de niveau d'efficacité standard et de capacité de refroidissement de seulement 3,5 kW peut coûter plus de 570 $ par kW, tandis que la même pompe à chaleur mais de capacité de refroidissement de 25 kW coûtera environ 200 $ par kW. L'utilisateur doit toujours garder en mémoire que les systèmes commerciaux peuvent avoir besoin d'une capacité totale installée plus élevée que celle évaluée dans la feuille de calcul du *Modèle énergétique*.

Pompes d'extraction

Le coût des pompes d'extraction d'eau des puits est estimé en se basant sur le total de leur puissance électrique (en kW). La puissance électrique totale des pompes est calculée par le modèle et apparaît automatiquement dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*. En général, on utilise des pompes submersibles ou des pompes de surface à arbre en ligne pour ce type d'application. Pour de petits systèmes (15 L/s ou moins), l'utilisation de pompes submersibles est recommandée en raison de leur coût d'achat inférieur. Pour de plus gros systèmes, l'utilisation de pompes à arbre en ligne est habituellement plus avantageuse.

Le coût unitaire des deux types de pompe dépend du débit requis par la conception du système. Des coûts typiques sont donnés dans le tableau.

Débit L/s	Pompe submersible $/kW électrique	Pompe à colonne $/kW électrique
3	1 700 $	3 400 $
15	750 $	850 $
30	450 $	425 $

Coût des pompes d'extraction

Pompes de circulation

Le coût des pompes de circulation est estimé en se basant sur leur puissance électrique totale (en kW). La puissance électrique totale des pompes est calculée par le modèle et apparaît automatiquement sur la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Les pompes de circulation sont nécessaires pour tous les types de pompe à chaleur géothermique (qui utilisent un puits ou une boucle fermée horizontale ou verticale

Le coût unitaire des pompes de circulation dépend de la puissance de pompage requise. Des coûts typiques sont donnés dans le tableau.

Puissance kW	Coûts typiques $/kW
0,2	1 900 $
1	1 100 $
4	500 $
10	350 $
20	250 $

Coûts typiques des pompes de circulation

Fluide caloporteur

Le coût du fluide caloporteur (côté échangeur dans le sol) varie en fonction du volume nécessaire dans la boucle fermée (en m³). Le volume de fluide est calculé par le modèle et apparaît automatiquement sur la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Seulement le fluide caloporteur de la boucle de l'échangeur géothermique est considéré dans le modèle. On ne tient donc pas compte du fluide caloporteur de la boucle du bâtiment dans le calcul des coûts des équipements énergétiques.

En période hivernale, il est commun d'atteindre des températures d'opération inférieures au point de congélation au niveau de la boucle fermée qui sert d'échangeur dans le sol. Pour cette raison, on utilise un fluide antigel pour protéger la tuyauterie et pour s'assurer d'un fonctionnement adéquat de la pompe à chaleur. Les solutions antigels utilisent comme base les plus communes : le chlorure de calcium, l'éthanol, l'éthylène glycol, le méthanol, le propylène glycol, l'acétate de potassium, le carbonate de potassium et le chlorure de sodium. Par exemple, le coût typique du propylène glycol est entre 2 400 $ et 3 000 $/m³.

Chaque type de fluide a ses avantages et ses inconvénients qui sont bien décrits dans la littérature spécialisée [ASHRAE, 1995]. L'utilisation de fluide antigel dans les pompes à chaleur géothermique à boucle fermée est réglementée par les différentes agences gouvernementales de la plupart des pays. Une vérification de la réglementation est donc nécessaire pour sélectionner le fluide antigel. En effet, il est important de noter que, dans certaines régions, l'utilisation de certains fluides antigels peut être interdite par les autorités locales.

Échangeurs de chaleur

Le coût des échangeurs de chaleur est basé sur la capacité de refroidissement de la pompe à chaleur géothermique (en kW). La capacité de refroidissement de la pompe à chaleur géothermique est calculée par le modèle et apparaît automatiquement sur la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Le type d'échangeur de chaleur le plus couramment utilisé pour les pompes à chaleur géothermique à eau souterraine est l'échangeur à plaques. Ce type d'échangeur est efficace, compact, facile d'entretien et abordable. Le coût de tel échangeur peut varier entre 7 $ et 20 $/kW.

Travaux de terrassement

Les travaux de terrassement (excavation et de remblayage) peuvent être effectués à l'aide de différents engins de chantier de plus ou moins grande dimension selon les surfaces à remuer, allant de la pelle mécanique au bulldozer. Le coût unitaire du terrassement et du remblaiement peut être influencé par différents facteurs tel que la profondeur de la tranchée, la présence d'obstacles (tel que le roc) et le nombre de coudes de retour. Le procédé de remblaiement est critique pour assurer l'intégrité de la boucle fermée et une bonne performance au niveau de la pompe à chaleur géothermique. Le matériau de remblaiement ne doit pas contenir de grosses roches, du sable doit être utilisé tout autour de la tuyauterie qui forme la boucle fermée.

Des coûts typiques d'excavation et de remblayage sont présentés dans le tableau pour une profondeur de tranchée de 1,80 m. La longueur de tranchée est calculée par le modèle et est copiée automatiquement de la feuille de calcul *Modèle énergétique*. En régions isolées, pour des sols de type permafrost, les coûts de terrassement peuvent être beaucoup plus élevés que ceux présentés dans le tableau. De plus, la machinerie nécessaire pour faire le terrassement et le remblayage peut ne pas être disponible localement. Si la machinerie est disponible en régions isolées, il faut prévoir des coûts de location jusqu'à 1,5 fois plus élevés que les coûts standards.

Largeur de tranchée m	Coûts typiques $/m
0,15	4 à 6 $
0,61	4 à 6 $
0,91	5 à 9 $

Coûts typiques de terrassement (excluant les raccordements entre tranchées)

Pour les raccordements entre tranchées, un coût typique par coude de retour est entre 40 $ et 70 $.

Forage et remplissage

Le forage de puits et de trous verticaux peut se faire avec de l'équipement standard tel qu'une foreuse rotative ou une foreuse à air. Le coût unitaire du forage dépend du type de sol. Le forage dans le roc est le plus dispendieux et prend le plus de temps. Le diamètre du trou influence aussi le coût du forage et du remplissage. Le diamètre d'un trou vertical est plus petit qu'un puits, typiquement de 10 à 15 cm. Le diamètre d'un puits peut varier de 15 à 40 cm, selon le débit d'eau nécessaire. Le remplissage d'un puits ou d'un trou vertical doit se faire avec un coulis spécial, le plus commun étant un mélange de bentonite et de solide granulaire. Le remplissage sert de paroi étanche afin de prévenir toute contamination des eaux de surface vers une nappe d'eau souterraine, ou toute contamination d'une nappe d'eau souterraine vers une autre.

Les coûts typiques de forage et de remplissage sont présentés dans le tableau (en $/m). La longueur du forage est calculée par le modèle et est copiée automatiquement de la feuille de calcul *Modèle énergétique*.Cette longueur est évaluée pour l'ensemble des puits d'extraction et d'injection requis pour le projet (boucle ouverte). Si un système de puits à colonne stationnaire à

boucle ouverte est utilisé, l'utilisateur doit diviser le coût unitaire par deux puisque, dans cette configuration, l'extraction et l'injection de l'eau se font par le même puits.

Type de sol	Forage de 10 cm de diamètre	Forage de 15 cm de diamètre	Forage de 25 cm de diamètre
Gravier fin, roche tendre	11 à 15 $/m	12 à 16 $/m	15 à 19 $/m
Roche mi-dure	12 à 17 $/m	13 à 18 $/m	16 à 21 $/m
Roche saine ou dure	15 à 27 $/m	12 à 28 $/m	19 à 32 $/m

Coûts typiques pour le forage et le remplissage

Les coûts unitaires présentés dans le tableau précédent ont été obtenus pour un trou vertical, ou un puits, de 76 m de profond, remplit avec du coulis sur les 6 premiers mètres du forage. Si tout le trou vertical doit être cimenté (rempli de coulis), on doit ajouter 1,15 $, 2,60 $ et 6,60 $/m pour les forages de 10, 15 et 25 cm de diamètre respectivement. Les réglementations locales peuvent en effet exiger que tous les trous verticaux soient entièrement cimentés. Dans ce cas, puisque le coulis a de moins bonnes propriétés de transfert de chaleur que les matériaux courants de remplissage, il faudra prévoir un trou vertical plus profond.

Les coûts de terrassement du bâtiment vers chaque forage, nécessaires pour rejoindre tous les puits ou tous les trous verticaux à la pompe à chaleur par un tuyau collecteur horizontal, ne sont pas considérés dans le modèle. L'utilisateur peut entrer ces coûts sous la rubrique « Autres ».

Tuyaux de l'échangeur souterrain

Le modèle suppose l'utilisation de la tuyauterie de polyéthylène de 32 mm de diamètre nominal (séries 160) pour déterminer les performances du système. Le coût typique de cette tuyauterie peut varier de 1,50 $ à 3,50 $/m. Le tableau présente des coûts unitaires typiques pour de la tuyauterie de polyéthylène de différents diamètres. Ces tuyauteries sont souvent utilisées à d'autres endroits du système de chauffage et de climatisation, tels qu'au niveau de la boucle côté bâtiment ou de la boucle de raccordement des trous verticaux ou des tranchées à la pompe à chaleur. La longueur de la boucle côté sol est calculée par le modèle et apparaît automatiquement sur la feuille de calcul *Analyse des coûts*.

Diamètre mm	Plage des coûts $/m
14	0,75 à 1,50 $/m
25	1,00 à 2,50 $/m
38	2,50 à 4,00 $/m
51	3,50 à 5,00 $/m
76	5,50 à 7,00 $/m

Coût de la tuyauterie

Le coût de la boucle de raccordement des trous verticaux, ou des tranchées (tuyau collecteur horizontal), à la pompe à chaleur n'est pas considéré sous cette rubrique. L'utilisateur peut entrer ce coût sous la rubrique « Autres ». Le coût de la boucle de raccordement dépend de la longueur et du diamètre de la tuyauterie utilisée.

Valves et raccords côté sol

Toutes les valves et tous les raccords côté puits ou boucle fermée sont normalement soudés par thermofusion pour assurer l'intégrité à long terme des assemblages. Le tableau ci-dessous présente les coûts moyens de raccords typiques utilisés dans des installations de pompe à chaleur géothermique. Globalement, le coût moyen des valves et des raccords varie de 8 $ à 20 $ par kW de puissance de refroidissement (frigorifique).

Type de raccord	Coût unitaire
Coude – 2,54 mm dia.	3,50 $
Coude – 3,81 mm dia.	6,00 $
Réduit – 3,81 mm dia.	9,50 $
Raccord en U – 5,8 mm dia.	41,00 $
Coude – 5,8 mm dia.	8,00 $

Coûts typiques de raccord

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Infrastructures connexes

Les équipements et activités touchant les infrastructures connexes d'un système de pompe à chaleur géothermique comprennent généralement un certain nombre d'éléments : chauffage d'appoint, évacuateur de chaleur additionnel, boucle côté bâtiment incluant la tuyauterie, les valves, les raccords et l'isolation. On suppose que les coûts des autres composants, tels que les conduites d'air et le transport, sont semblables aux autres composants des systèmes conventionnels de chauffage et de climatisation. Ils ont donc un impact négligeable sur le coût global d'un système de pompe à chaleur géothermique.

Tous les coûts présentés dans cette section comprennent l'installation, les frais généraux et les profits.

Chauffage d'appoint

Comme on l'a indiqué dans la section décrivant la feuille de calcul *Modèle énergétique*, le système de chauffage et de climatisation par pompe à chaleur géothermique peut également comprendre un chauffage d'appoint destiné à répondre à la demande de pointe. Le chauffage d'appoint peut être assuré par différentes sources d'énergie tels que des plinthes ou une chaudière électriques, une chaudière au mazout ou au gaz. Des coûts typiques de système de chauffage d'appoint peuvent être obtenus par l'intermédiaire d'entrepreneurs en CVAC ou dans la littérature spécialisée [Means, 1998].

Le coût du système de chauffage d'appoint est estimé à partir de la puissance supplémentaire requise (en kW). La puissance d'appoint pour le chauffage est calculée par le modèle et est copiée automatiquement de la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Évacuateur de chaleur additionnel

Comme on l'a indiqué dans la section décrivant la feuille de calcul *Modèle énergétique*, le système de chauffage et de climatisation par pompe à chaleur géothermique peut comprendre un évacuateur de chaleur additionnel. Cet évacuateur de chaleur est destiné à répondre à la demande de pointe en climatisation. On utilise habituellement une tour de refroidissement comme évacuateur de chaleur additionnel à la boucle fermée dans le sol ou au puits. Des coûts typiques de tour de refroidissement peuvent être obtenus par l'intermédiaire d'un entrepreneur en CVAC ou dans la littérature spécialisée [Means, 1998].

Le coût de l'évacuateur d'appoint est estimé à partir de la puissance thermique à dissiper (en kW). La puissance thermique à dissiper est calculée par le modèle et est copiée automatiquement de la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Boucle côté bâtiment

Ce sujet comprend les coûts de toute la tuyauterie, les raccords, les valves et l'isolation de la boucle du côté du bâtiment. Le tableau Coût de la tuyauterie présente des coûts unitaires typiques pour de la tuyauterie de polyéthylène (série 160) de différents diamètres. Le tableau Coûts typiques de raccord présente des coûts typiques de raccords utilisés dans des installations de pompe à chaleur géothermique. Le tableau Coût typique d'isolant pour tuyauterie présente des coûts typiques unitaires d'isolant pour de la tuyauterie de différents diamètres.

Diamètre mm	Plage/Coût $/m
14	11,00 $/m
25	11,25 $/m
38	12,00 $/m
51	12,50 $/m
76	14,00 $/m

Coût typique d'isolant pour tuyauterie

Globalement, le coût typique de la tuyauterie isolée du côté bâtiment varie de 20 $ à 70 $ par kW de puissance de refroidissement.

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Divers

Cette catégorie regroupe tous les frais divers engagés pendant l'exécution d'un projet et qui n'ont pas été pris en compte dans les autres sections. Pour les projets de pompe à chaleur géothermique, il peut s'agir des coûts de formation et des frais imprévus.

Formation

Une fois les travaux achevés, il reste l'étape de la mise en service du système par le concepteur, souvent en présence du propriétaire du bâtiment. Il faut compter une visite du concepteur pour la mise en service que l'on combine normalement à l'inspection finale des installations et à toute formation devant être dispensée avant la mise en route du système. On rappelle qu'une formation adéquate du personnel d'exploitation et d'entretien est indispensable à la réussite de toute nouvelle technologie. Pour un projet résidentiel, cette étape reste requise mais à un degré

moindre. Le temps nécessaire pour une séance de formation typique est de 8 à 16 heures pour un système commercial/industriel et de 1 à 4 heures pour un système résidentiel. Les tarifs pratiqués par les experts du domaine varient de 40 $ à 100 $ l'heure. En régions isolées, le temps requis pour une séance de formation peut être beaucoup plus élevé compte tenu de l'aspect plus particulier des applications dans ces régions. On doit aussi prévoir les coûts de transport et d'hébergement sous cette rubrique.

Frais imprévus

La provision pour les coûts impondérables dépend du degré d'exactitude des estimations de coûts. L'estimation des frais imprévus est basée sur un pourcentage, déterminé par l'utilisateur du modèle, du coût total du projet. Les frais imprévus sont donc proportionnels au coût du projet, incluant les crédits.

La provision pour les coûts impondérables devrait être basée sur le degré d'exactitude des estimations des coûts du projet par le modèle RETScreen au stade de l'analyse de préfaisabilité, qui comporte généralement une marge d'erreur de 40 à 50 %. Toutefois, le degré d'exactitude dépend du savoir-faire de l'équipe chargée de l'analyse, de l'envergure du projet examiné, de l'énergie consacrée à l'exécution de cette analyse, de la précision et de la fiabilité des données recueillies. Néanmoins, si l'utilisateur du modèle a l'expérience des projets de pompe à chaleur géothermique, il pourrait certainement produire des estimations présentant une marge d'erreur de 10 à 40 % du coût initial du projet.

Frais annuels (crédits)

Divers aspects de l'exploitation d'une pompe à chaleur géothermique comportent des coûts annuels. Ces coûts peuvent inclure des taxes foncières, des primes d'assurance, de la main d'œuvre d'exploitation et d'entretien et des voyages et de l'hébergement. Il faut compter en outre des coûts additionnels pour l'électricité en terme de charge de consommation et de pointe (ou de crédits dans le cas de réduction de la charge).

Le modèle prévoit des cellules d'entrées sur fond gris qui permettent d'identifier d'autres crédits ou d'autres coûts pour tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions et qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information précédente.

Exploitation et entretien

Taxes foncières et assurances

En général, l'installation d'une pompe à chaleur géothermique ne devrait pas entraîner une hausse des taxes sur la propriété. Certaines collectivités peuvent même consentir un incitatif fiscal pour encourager l'installation de tels systèmes. Le propriétaire du bâtiment peut même choisir d'augmenter sa couverture d'assurance en fonction du coût de son système de chauffage et de climatisation. L'assurance devrait inclure une couverture pour le feu, une couverture pour les réparations en cas de dommages causés par accidents et une responsabilité civile. On peut

demander à un courtier d'assurances d'estimer le surcoût de prime d'assurances que cela représente.

Main-d'oeuvre

Généralement, les pompes à chaleur géothermiques exigent moins d'entretien que les systèmes conventionnels de chauffage et de climatisation. On détermine habituellement le coût de la main-d'œuvre qui assure l'exploitation et l'entretien des systèmes en terme de $ par surface de plancher (m^2). Le coût peut varier de 1,00 $/$m^2$ à 3,00 $/$m^2$ comparé à 2,00 $/$m^2$ à 4,00 $/$m^2$ pour un système conventionnel.

Une pompe à chaleur utilisée pour des applications en pergélisol peut requérir de la maintenance particulière. Les coûts de maintenance devront alors être estimés selon chaque projet.

Voyages et hébergement

Pour de grands systèmes de pompe à chaleur géothermique utilisés en régions isolées, il faudrait prévoir des coûts pour les voyages et l'hébergement de l'expert assurant l'entretien annuel du système de pompe à chaleur géothermique.

Autres

Ces cellules permettent de regrouper tous les coûts ou les crédits d'une étape du projet qui ne sont pas couverts ailleurs. L'utilisateur peut y entrer une « Quantité » et un « Coût unitaire ». Le « Coût unitaire » doit toujours être un nombre positif. Plutôt que d'affecter un signe positif ou négatif, l'utilisateur doit choisir dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité » entre « Coût » ou « Crédit ».

L'utilisateur peut entrer un nom pour identifier le coût d'un produit ou d'un service à considérer dans la cellule grise de la première colonne. Il suffit ensuite de sélectionner l'option « Coût » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». Ce poste budgétaire sert à tenir compte des différences entre les projets, les technologies ou les régions qui n'ont pas été expressément signalées dans l'information générale fournie.

Dans cette même cellule grise un crédit peut être imputé à un produit ou à un service. L'utilisateur choisit pour cela l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité ». En effet, un projet peut être crédité des coûts en matériel ou main-d'œuvre qui auraient dus être de toute façon consacrés au projet de référence ou à la source conventionnelle d'énergie. Un crédit apparaîtra comme négatif dans la colonne « Montant ».

Frais imprévus

On peut établir une provision pour dépenses annuelles imprévues, dont le montant dépend du degré d'exactitude de l'estimation des coûts annuels d'exploitation et d'entretien. Il est courant d'établir une provision annuelle pour imprévus au moins pour le composant le plus coûteux qui

pourrait entraîner une panne totale du système. Le calcul des frais imprévus est basé sur un pourcentage estimé, habituellement de 2 à 15 %, du coût du système.

Combustible/Électricité

Électricité

Il s'agit de la quantité annuelle d'énergie électrique consommée par la pompe à chaleur géothermique. Cette quantité correspond à la somme des consommations en mode chauffage et en mode climatisation, incluant l'énergie parasite pour faire fonctionner les pompes. L'utilisateur du modèle entre le prix de l'électricité (en $/kWh) correspondant à la localité où le système sera installé.

Puissance souscrite supplémentaire

Le modèle calcule les charges électriques de pointe générées par la pompe à chaleur géothermique et compare les résultats avec les charges électriques de pointe qui seraient générées par le système de référence de chauffage et de climatisation (voir feuille de calcul *Modèle énergétique*).

Le coût de la puissance souscrite entré sous « Coût unitaire » en $/kW (basé sur la moyenne annuelle), dépendra de la grille tarifaire utilisée par le distributeur d'énergie électrique locale. La différence de puissance appelée est appliquée uniformément sur l'année entière.

La puissance de chauffage auxiliaire n'est considérée électrique que lorsque la source d'énergie du cas de base est électrique.

Coûts périodiques (crédits)

Sous cette rubrique, l'utilisateur peut préciser les coûts ou les crédits périodiques qui sont à prévoir au cours de la durée de vie du projet. Dans les cellules grises de la première colonne, on peut entrer un nom pour identifier le coût (ou le crédit) à considérer à intervalles réguliers ou prévisibles. On doit toujours entrer une valeur positive dans la colonne « Coût unitaire ».

Un coût périodique est une dépense nécessaire qu'il faut prévoir à intervalles réguliers ou prévisibles au cours de la durée de vie du projet pour assurer la production d'énergie. Cette dépense est entrée dans la cellule grise de la colonne « Coût unitaire ». Pour préciser qu'il s'agit bien d'une dépense (et non d'un crédit) l'utilisateur doit choisir l'option « Coût » dans la liste déroulante offerte dans la colonne « Unité ». Enfin, dans la troisième colonne, on doit préciser à quel intervalle périodique (en années) cette dépense doit être engagée.

Le projet peut aussi être crédité des coûts qu'il aurait fallu prévoir à intervalles périodiques pour assurer la production d'énergie de manière conventionnelle. Ce crédit est entré comme une valeur positive dans la cellule grise de la colonne « Coût unitaire ». Pour préciser qu'il s'agit bien d'un crédit (et non d'une dépense) l'utilisateur doit choisir l'option « Crédit » dans la liste déroulante

offerte dans la colonne « Unités ». Enfin, dans la troisième colonne, on doit préciser à quel intervalle périodique (en années) ce crédit peut être appliqué. Un crédit apparaîtra comme une valeur négative dans la colonne « Montant ».

Valeur résiduelle du projet

L'utilisateur indique la valeur résiduelle du projet. Il s'agit soit d'une valeur réelle du projet à la fin de sa durée de vie, soit d'une dépense à prévoir pour son démantèlement. La valeur indiquée dans la colonne « Coût unitaire » doit toujours être positive. Si le projet a une valeur réelle (négociable) à la fin de sa durée de vie, l'utilisateur choisira l'option « Crédit » dans la liste déroulante de la colonne « Unité » et la valeur résiduelle apparaîtra comme une valeur négative dans la colonne « Montant ». Cependant, si les coûts de démantèlement excédent la valeur résiduelle des équipements, la valeur résiduelle devient un coût. L'utilisateur choisira alors l'option « Coût » de la liste déroulante.

Note : Arrivé à cette étape, l'utilisateur peut passer à la feuille de calcul *Analyse des GES*.

Feuilles de calcul vierges (3)

Les trois feuilles de calcul vierges permettront à l'utilisateur de préparer une version personnalisée de présentation d'une analyse RETScreen. Par exemple, on pourra y indiquer plus de données ou de détails sur un projet, y préparer des graphiques, y présenter les résultats d'études de sensibilité plus détaillée, ou encore y bâtir une base de données personnelle. L'utilisateur peut aussi développer et inclure dans ces feuilles de calcul son propre modèle d'analyse des résultats de RETScreen.

Sommaire financier

Dans le logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres, chaque projet évalué dispose d'une feuille de calcul *Sommaire financier*. Cette feuille commune se divise en six sections : **Bilan énergétique annuel, Paramètres financiers, Coûts du projet et économies générées, Analyse financière, Flux monétaires annuels** et **Graphique des flux monétaires cumulatifs**. Les rubriques « Bilan énergétique annuel » et « Coûts du projet et économies générées » fournissent un résumé des feuilles de calcul *Modèle énergétique*, *Analyse des coûts* et *Analyse des GES* de chaque projet examiné. En plus de ce résumé d'information, la rubrique « Analyse financière » donne des indicateurs financiers du projet. Ces indicateurs sont établis à partir des données entrées par l'utilisateur sous la rubrique « Paramètres financiers ». La rubrique « Flux monétaires annuels » permet à l'utilisateur de connaître les flux de monétaires nets (avant impôt et après impôt) et le flux cumulatif liés au projet durant la totalité de la durée de vie de ce dernier. La feuille de calcul *Sommaire financier* de chaque projet a été élaborée selon un schéma commun, de manière à simplifier la tâche de l'utilisateur dans l'analyse de la viabilité des projets. Il en résulte que les descriptions des paramètres sont les mêmes pour la plupart des postes de la feuille de calcul.

Pour les décideurs, l'un des principaux avantages du logiciel RETScreen est qu'il simplifie le processus d'évaluation des projets. Grâce à ses données d'entrée de paramètres financiers (coûts évités en énergie de chauffage, taux d'actualisation, ratio d'endettement, etc.) et aux données résultant de l'analyse financière (taux de rendement interne (TRI), retour simple, valeur actualisée nette (VAN), etc.), la feuille de calcul *Sommaire financier* offre aux décideurs les divers paramètres financiers utiles à leur analyse. Les différentes rubriques, avec des commentaires sur leur importance dans l'analyse préliminaire de faisabilité, sont décrites ci-dessous.

Bilan énergétique annuel

Les rubriques du Bilan énergétique annuel sont calculées ou entrées dans la feuille de calcul *Modèle énergétique* et *Analyse des GES*, ces données sont automatiquement copiées dans la feuille *Sommaire financier*.

Nom du projet

Le nom du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Lieu du projet

Le lieu du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Énergie de chauffage fournie

La feuille de calcul *Modèle énergétique* calcule l'énergie de chauffage fournie (en MWh) par le système de pompe à chaleur géothermique. Cette énergie se substitue à l'énergie qui aurait été fournie par le système conventionnel ou de référence. Le paramètre « Énergie de chauffage fournie » est utilisé avec les paramètres « Coût évité de l'énergie de chauffage » et « Rendement saisonnier du système de chauffage de référence » pour calculer les économies en énergie de chauffage.

Énergie de refroidissement fournie

La feuille de calcul *Modèle énergétique* calcule l'énergie de refroidissement fournie (en MWh) par le système de pompe à chaleur géothermique. Dans le cas des bâtiments climatisés, l'énergie pour le refroidissement se substitue à l'énergie pour le refroidissement qui aurait été fournie par le système conventionnel ou de référence. On suppose que le climatiseur ou conditionneur conventionnel ou de référence fonctionne à l'électricité. Le paramètre énergie de refroidissement fournie est utilisé avec les paramètres prix de détail de l'électricité et COP (coefficient de performance) saisonnier du climatiseur pour calculer les économies en énergie de refroidissement. Naturellement, on n'obtient des économies que si le système de référence sert au refroidissement.

Énergie de chauffage évitée

L'énergie de chauffage évitée est le type de source d'énergie dont on évite ou réduit la consommation lorsque l'on réalise et exploite le projet d'énergie propre. Il s'agit de la source d'énergie de chauffage qui a été retenue dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*. Cette information permet de calculer les économies d'énergie de chauffage. Les sources suivantes d'énergie sont disponibles dans le modèle : gaz naturel, propane, diesel (mazout #2), mazout (#6), électricité et autre.

Électricité requise

La feuille de calcul *Modèle énergétique* donne, en MWh, la consommation d'énergie électrique requise pour faire fonctionner le système de pompe à chaleur géothermique durant les saisons de chauffage et de climatisation. Cette valeur sert ensuite à calculer les coûts annuels en électricité ou en combustible.

Puissance souscrite supplémentaire

Le modèle calcule la puissance souscrite supplémentaire maximale (en kW) qui est requise pendant la saison de refroidissement ou de chauffage et qui résulte de la substitution du système de chauffage et de refroidissement de référence par le système de pompe à chaleur géothermique. La valeur, calculée dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*, sert à calculer le coût annuel du combustible/électricité requis par l'ajout du système de pompe à chaleur géothermique

Une augmentation des frais liés à la demande provoquée par une demande de puissance souscrite supplémentaire n'est possible que si la demande de puissance souscrite supplémentaire entraînée par l'utilisation du système de pompe à chaleur géothermique se traduit par une augmentation équivalente de la demande de pointe de puissance électrique pour le bâtiment étudié. Par conséquent, toute augmentation globale implique que la puissance électrique maximum appelée pour le chauffage ou le refroidissement coïncide avec la demande de pointe globale du bâtiment. Inversement, une demande négative d'énergie électrique supplémentaire peut résulter en une réduction des frais liés à la demande et, conséquence de cette réduction, en une baisse du coût annuel de la consommation de combustible/d'électricité.

Réduction nette d'émissions de GES

Le modèle calcule la réduction annuelle moyenne des émissions de gaz à effet de serre (GES) exprimée en tonnes équivalentes de CO_2 par année (t_{CO2}/an). Cette réduction découle de l'utilisation du système proposé plutôt que du système conventionnel, ou de référence. Cette données est calculée dans la feuille de calcul *Analyse des GES* et est automatiquement copiée dans la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Réduction nette d'émissions de GES - durée du crédit

Le modèle calcule la réduction cumulative nette des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour toute la durée du crédit. Cette valeur est exprimée en tonnes équivalentes de CO_2 (t_{CO2}). Cette réduction découle de l'utilisation de la centrale proposée plutôt que du système conventionnel, ou de référence, de production d'énergie de chauffage. Cette valeur est obtenue en multipliant la réduction annuelle nette d'émissions de GES par la durée du crédit pour réduction de GES.

Réduction nette d'émissions de GES - durée de vie du projet

Le modèle calcule la réduction nette des émissions de gaz à effet de serre (GES) pendant toute la durée de vie du projet. Cette valeur est exprimée en tonnes équivalentes de CO_2 (t_{CO2}). Cette réduction découle de l'utilisation du système proposé plutôt que du système conventionnel, ou de référence, de production d'énergie de chauffage et de climatisation. Cette valeur est obtenue en multipliant la réduction annuelle nette d'émissions de GES par la durée de vie du projet.

Paramètres financiers

Ces paramètres permettent d'effectuer les calculs de la feuille de calcul *Sommaire financier*. Les valeurs attribuées à chaque paramètre dépendront du point de vue de l'utilisateur. Ainsi, un propriétaire de bâtiment utilisera probablement d'autres valeurs que celles utilisées par une entreprise de services éco-énergétiques (ESÉ).

Coût évité en énergie de chauffage

L'utilisateur entre le coût de l'énergie de chauffage déplacée par le système de pompe à chaleur géothermique. Par exemple, si « Diesel (mazout #2)-L » a été sélectionné comme étant la source

d'énergie du système de chauffage de référence dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*, alors l'utilisateur doit entrer, dans la cellule « Coût évité en énergie de chauffage », le coût local du diesel (mazout #2) en $/L.

Ce coût est utilisé pour calculer les économies d'énergie de chauffage à partir de la quantité d'énergie de chauffage fournie, du pouvoir calorifique du combustible et du rendement saisonnier du système de chauffage de référence (valeurs apparaissant dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*). Dans le modèle, le taux d'indexation de l'énergie s'applique à ce coût dans le calcul du coût global du projet, de l'an 1 jusqu'à la fin de la vie du projet. Il est à noter que l'unité du « Coût évité en énergie de chauffage », pour le propane, est exprimée en propane liquéfié.

Crédit pour réduction d'émissions de GES

L'utilisateur indique, par tonne de CO_2 (t_{CO2}), le crédit accordé pour réduction d'émissions de GES. Cette valeur permet, avec la réduction annuelle nette d'émissions de GES, de calculer le revenu annuel dû au crédit pour réduction d'émissions de GES.

Aux USA, on prévoit que ces crédits pourraient s'élever au cours des prochaines années à des valeurs de l'ordre de 5 $US à 8 $US par tonne de CO_2 [Sandor, 1999]. Mais les prédictions varient autant que de 4 $US à 95 $US par tonne de CO_2. En 2003, le prix de la tonne de CO_2 sur le marché global était typiquement entre 3 $US à 5 $US.

La valeur indiquée représente le taux perçu pour l'an 0 du projet, c'est-à-dire pour l'année qui précède la mise en service du projet (an 1). Le crédit pour réduction d'émissions de GES est indexé selon le taux d'indexation du crédit pour réduction d'émissions de GES. Le montant annuel des sommes perçues par ce crédit est comptabilisé à partir de l'an 1 et pour la durée du crédit pour réduction d'émissions de GES.

Durée du crédit pour réduction de GES

L'utilisateur indique, en années, la durée pendant laquelle le projet bénéficiera du crédit pour réduction d'émissions de GES. Cette valeur permet de calculer le revenu annuel dû aux crédits pour réduction d'émissions de GES.

Taux d'indexation du crédit pour GES

L'utilisateur entre, en %, une estimation du taux moyen annuel d'indexation du crédit pour réduction d'émissions de GES pour la durée du crédit pour réduction d'émissions de GES. Cette donnée permet à l'utilisateur d'appliquer, pour les prochaines années, une augmentation de la valeur du crédit pour réduction d'émissions de GES, différente du taux global d'inflation.

Prix de détail de l'électricité

Cette valeur est automatiquement transférée de la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Elle permet de calculer les coûts annuels en électricité ou en combustible à partir de l'électricité nécessaire au

fonctionnement du système de pompe à chaleur géothermique. Le modèle utilise aussi cette valeur avec celle relative à l'énergie de refroidissement et le COP saisonnier du climatiseur ou conditionneur pour calculer les économies annuelles en énergie de refroidissement réalisées quand le système de référence sert au refroidissement.

Cette valeur est considérée pour l'an 0 de développement du projet avant le début de son exploitation (an 1). Dans le modèle, le taux d'indexation de l'énergie s'applique à ce prix dans le calcul du coût global du projet, de l'an 1 jusqu'à la fin de la vie du projet.

Frais liés à la puissance souscrite

Les frais liés à la puissance souscrite ($/kW) sont transférés de la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Le modèle utilise cette valeur avec celle relative à la puissance souscrite supplémentaire pour calculer le coût annuel de la consommation d'électricité entraînée par l'utilisation du système de pompe à chaleur géothermique.

Les frais liés à la puissance souscrite doivent être rapportés à l'année étant donné que les frais additionnels résultant d'une demande positive de puissance supplémentaire, ou, inversement, que la somme portée au crédit (générée par une réduction de demande d'électricité supplémentaire) sont traités par le modèle sur une base annuelle. Par exemple, l'utilisateur doit inscrire des frais liés à la puissance appelée de 60 $ quand il se produit une réduction de 10 kW de la puissance électrique maximum appelée (demande négative d'électricité supplémentaire) pendant les trois mois de l'été et que cette réduction entraîne des économies de 200 $ chaque mois. L'utilisateur doit entrer la valeur 0 $ chaque fois que les frais liés à la puissance souscrite ne sont pas imposés par le service ou quand la réduction de demande de puissance supplémentaire résultant de l'utilisation du système de pompe à chaleur géothermique ne provoque pas le même changement de la puissance électrique maximum appelée pour l'ensemble du bâtiment.

Taux d'indexation de l'énergie

L'utilisateur entre, en %, le taux d'indexation du coût de l'énergie, qui est la prévision du taux annuel moyen d'augmentation du coût de l'énergie pendant la durée de vie du projet. Il peut ainsi appliquer aux coûts des combustibles un taux d'indexation différent du taux moyen général d'inflation. Par exemple, les compagnies d'électricité nord-américaines utilisent actuellement des taux d'indexation de l'énergie variant entre 0 et 5 %, la plage de 2 à 3 % étant la plus fréquemment retenue.

Taux d'inflation

L'utilisateur entre, en %, le taux d'inflation, qui est le taux d'inflation annuel moyen prévu sur la durée de vie du projet. Par exemple, on prévoit actuellement que l'inflation générale sur les 25 prochaines années devrait, en Amérique du Nord, se situer entre 2 et 3 %.

Taux d'actualisation

L'utilisateur entre, en %, le taux d'actualisation, qui est le taux utilisé pour actualiser les flux monétaires futurs, afin d'obtenir leur valeur actualisée. Le taux généralement considéré comme le plus approprié est le coût moyen des différentes sources de financement de l'entreprise. Pour une organisation, le coût en capital n'est pas seulement le taux d'intérêt exigé pour la dette à long terme. En fait, la notion de taux d'actualisation ou coût du capital est assez vaste, et fait intervenir un mélange des coûts de toutes les sources de fonds d'investissement, dette et capitaux propres investis. Le coût du capital est aussi appelé « taux de rendement minimal », « taux limite de rentabilité » et « taux de rendement requis ». Le modèle utilise le taux d'actualisation pour calculer les économies annuelles sur la durée de vie du projet. Par exemple, les compagnies d'électricité nord-américaines utilisent actuellement des taux d'actualisation variant de 3 à 18 %, la plage de 6 à 11 % étant la plus fréquemment retenue.

Durée de vie du projet

L'utilisateur entre la durée de vie du projet en années, soit la période sur laquelle on évalue sa faisabilité financière. Selon les circonstances, ce peut être la durée de vie prévue des équipements énergétiques, la durée de l'emprunt ou la durée du contrat d'achat d'énergie ou de service énergétique. Le modèle peut prendre en compte des durées de vie allant jusqu'à 50 ans. Cependant, la durée de vie d'un système de pompe à chaleur géothermique bien conçu sera généralement entre 20 et 30 ans.

Ratio d'endettement

L'utilisateur entre, en %, le ratio d'endettement, qui est le rapport entre la dette et la somme de la dette et des capitaux propres investis dans le projet. Ce ratio reflète l'effet de levier financier créé pour le projet; plus le ratio d'endettement est élevé, plus important est le levier financier. Le modèle utilise le ratio d'endettement pour calculer les capitaux propres investis pour financer le projet. Par exemple, les ratios d'endettement types se situent généralement entre 0 et 90 %, la plage de 50 à 90 % étant la plus fréquente. Dans le cas d'un système de pompe à chaleur géothermique intégré au bâtiment dont les coûts font partie de ceux du bâtiment, financé par une hypothèque, le ratio typique d'endettement se situera entre 50 et 75 %.

Taux d'intérêt sur la dette

L'utilisateur entre le taux d'intérêt (%) sur la dette, qui est le taux d'intérêt annuel payé au créancier, à la fin de chaque année du terme de la dette. Le modèle utilise ce taux pour calculer les paiements de la dette. Par exemple, au minimum, le taux d'intérêt sur la dette correspondra au rendement des obligations d'état ayant le même terme que la dette. Le supplément normalement ajouté à ce taux reflète le risque que l'on attribue au projet.

Durée de l'emprunt

L'utilisateur entre, en années, la durée de l'emprunt, soit le nombre d'années au bout desquelles la dette est remboursée. Ce terme est égal, ou inférieur, à la durée de vie du projet. En général, plus il est long, meilleure est la viabilité financière du projet d'exploitation d'énergie. Le modèle utilise ce terme pour calculer les paiements de la dette et les flux monétaires annuels. La durée de l'emprunt est généralement comprise entre 1 et 25 ans; elle ne devrait pas dépasser la durée de vie estimée du projet.

Analyse d'impôt sur le revenu?

Grâce à la liste déroulante proposée dans cette cellule, l'utilisateur sélectionne si l'impôt sur les revenus de l'entreprise doit être pris en compte dans l'analyse financière. En choisissant « Oui », certaines nouvelles cellules apparaîtront de manière à adapter l'analyse financière à différents contextes. Dans certains cas, la rentabilité financière d'un projet donne de meilleurs cas de figures dans une analyse après impôt que dans une analyse avant impôt. Dans le cas de pompes à chaleur géothermique intégrées à des bâtiments résidentiels et achetées par leur propriétaire, l'utilisateur choisira l'option « Non » car on peut considérer que tout le financement est assuré par des revenus après impôt.

L'analyse incluant l'impôt sur les revenus permet de calculer les flux monétaires et les indicateurs financiers après impôt. Dans tous les cas, le modèle ne considère qu'un seul taux d'imposition, constant tout au long de la durée de vie du projet. Ce taux s'applique aux revenus nets (ou bénéfices) générés par le projet. Le calcul des impôts sur les bénéfices tient compte des investissements et des frais annuels nets, c'est-à-dire que les crédits dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* ne sont pas traités séparément. On obtient ainsi une analyse fiscale assez précise à moins que les crédits appliqués aux coûts d'investissement ou annuels ne soient du même ordre de grandeur que ce sur quoi ils s'appliquent et qu'ils soient, aux fins de l'amortissement fiscal, dans des catégories de biens différentes.

Taux d'imposition sur le revenu

L'utilisateur entre, en %, le taux d'imposition qui s'applique aux revenus nets (bénéfices) des sociétés. Il s'agit du taux global qui s'applique aux revenus nets du projet. Par taux global, on entend la somme de tous les impôts qui s'appliquent aux bénéfices des sociétés dans une juridiction donnée (p. ex. fédéral, provincial et local). Le bénéfice est le bilan annuel des revenus et dépenses du projet comptabilisés à la fin de l'année où ils ont lieu.

Dans tous les cas, le modèle ne considère qu'un seul taux d'imposition, constant tout au long de la durée de vie du projet. Sous cette rubrique on ne parle que de l'impôt sur le revenu net des sociétés. Ainsi, la taxe de vente qui peut s'être appliquée aux investissements initiaux doit être comptabilisée dans les « Coûts d'investissement » et la taxe foncière doit être prise en compte dans les « Frais annuels ».

Report des pertes?

Grâce à la liste déroulante de la cellule, l'utilisateur indique si les pertes (un revenu imposable négatif) peuvent être reportées d'une année à l'autre. Le principe est que les pertes peuvent être utilisées pour réduire les impôts de l'année courante ou elles peuvent être reportées à une année ultérieure et donc contribuer à réduire les impôts à payer lorsque des bénéfices seront dégagés.

En choisissant « Oui », l'utilisateur autorise le report des pertes qui se déduisent donc, jusqu'au total de leur valeur cumulée, des revenus imposables des années suivantes, ce qui réduit en conséquence les impôts à payer. En choisissant « Non », les pertes ne sont pas reportées et sont perdues, n'étant jamais utilisées pour réduire le revenu imposable d'une autre année. En choisissant « Transfert accréditif », les pertes ne sont pas reportées et s'appliquent uniquement aux revenus de la même année, sauf qu'elles serviront à réduire les bénéfices imposables provenant de sources autres que le projet (ou elles peuvent être admissibles à des crédits d'impôt remboursables). Ainsi, c'est véritablement l'impôt à payer pour l'année où les pertes sont encourues qui s'en trouve réduit.

Ce sont les lois fiscales en vigueur au lieu du projet qui déterminent si des pertes peuvent être reportées d'une année à l'autre. Le choix de ne pas reporter les pertes, mais plutôt d'utiliser un transfert accréditif est généralement le plus avantageux pour l'investisseur et peut contribuer à rendre un projet rentable même si l'analyse avant impôt indiquait le contraire.

Le modèle ne permet pas le report des pertes sur les profits d'années antérieures. Le modèle ne prévoit pas non plus de limite au nombre d'années pendant lesquelles des pertes peuvent être reportées.

Méthode d'amortissement

La liste déroulante propose trois méthodes différentes d'amortissement des coûts d'investissement : « Aucune », « Dégressive » et « Linéaire ». Selon l'option choisie, le modèle calcule différemment les impôts à payer et les indicateurs financiers calculés après impôt. Le choix de la méthode d'amortissement est déterminé par les lois fiscales en vigueur au lieu de réalisation du projet. À la fin de la durée du projet, la différence entre la « Valeur résiduelle du projet » et le capital initial non amorti, sera considérée comme un revenu, si elle est positive, et comme une perte, si elle est négative.

Avec l'option « Aucune », le modèle considère que le projet est entièrement capitalisé dès le début, qu'il ne bénéficie d'aucun amortissement, et que, par conséquent, il conserve entièrement sa valeur initiale non amortie tout au long de sa durée de vie.

Avec l'option « Dégressive », le modèle considère que les coûts capitalisés du projet, tels que définis à partir de l'allocation du coût en capital, sont dépréciés au taux d'amortissement. La portion de l'investissement qui n'est pas capitalisée est considérée comme une dépense durant l'année 0 de réalisation du projet.

Avec l'option « Linéaire », le modèle considère que les coûts capitalisés du projet, tels que définis à partir de l'allocation du coût en capital, sont dépréciés à un taux d'amortissement constant pendant toute la période d'amortissement. La portion de l'investissement qui n'est pas capitalisée est considérée comme une dépense durant l'année 0 de réalisation du projet.

Dans les deux formules d'amortissement, dégressive ou linéaire, le modèle considère que l'on bénéficie chaque année de la totalité du montant autorisé pour amortissement du capital. Le modèle ne prend pas non plus en compte la règle de calcul fiscal de la demi-année, telle qu'elle est pratiquée dans certains pays et qui ne permet d'amortir le capital que sur la moitié de sa valeur lors de la première année d'exploitation des immobilisations.

Allocation du coût en capital

L'utilisateur indique, en %, l'allocation du coût en capital. Cette valeur indique quelle portion des coûts d'investissement initial peut être capitalisée et donc être sujette à amortissement au sens fiscal. La portion de l'investissement qui n'est pas capitalisée est considérée comme une dépense durant l'année 0 de réalisation du projet.

Prenons le cas d'un système de pompe à chaleur géothermique dont le développement et l'étude de faisabilité coûtent 20 000 $ alors que la conception (ingénierie) et la réalisation s'élèvent à 80 000 $. On peut prendre 80 % comme allocation en capital de manière à amortir les immobilisations (conception, équipements énergétiques et connexes, divers). Les frais de développement et d'étude de faisabilité sont considérés comme des dépenses encourues durant l'an 0.

Taux d'amortissement

L'utilisateur indique, en %, le taux d'amortissement. Ce taux est celui auquel le capital non encore amorti du projet, est amorti chaque année. Le taux d'amortissement peut varier considérablement selon la catégorie de biens en jeu et les lois fiscales qui s'appliquent au lieu du projet.

Période d'amortissement

L'utilisateur indique, en années, la période d'amortissement. Il s'agit du nombre d'années pendant lesquelles les coûts d'investissement capitalisés du projet sont dépréciés à taux constant. La période d'amortissement peut varier considérablement selon la catégorie de biens en jeu et les lois fiscales qui s'appliquent au lieu du projet.

Congé fiscal disponible?

La liste déroulante permet de choisir si le projet bénéficiera d'un congé fiscal, c'est-à-dire d'une exonération totale d'impôts. L'option « Oui » indique que le congé fiscal s'applique dès l'an 1 d'exploitation du projet et pour toute la durée du congé fiscal. Le calcul des impôts sur le revenu pendant l'an 0 de développement et de réalisation du projet n'est pas affecté.

Durée du congé fiscal

L'utilisateur indique, en années, la durée du congé fiscal. Il s'agit du nombre d'années pendant lesquelles le projet bénéficie du congé fiscal, à partir de l'an 1 inclus. Ainsi, en Inde, certains projets d'exploitation des énergies renouvelables bénéficient d'un congé fiscal d'une durée de 5 ans.

Coûts du projet et économies générées

La plupart des valeurs de ces rubriques sont calculées ou entrées dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*, et transférées à la feuille *Sommaire financier*. Certains calculs sont effectués dans la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissements représentent l'investissement total à consentir pour mettre en service le système d'exploitation d'énergie, avant qu'il ne commence à générer des économies (ou des revenus). C'est la somme des coûts estimés imputables à l'étude de faisabilité, au développement, aux travaux d'ingénierie, aux équipements énergétiques, aux infrastructures connexes et aux frais divers. C'est une donnée entrée pour les calculs du retour simple, de la valeur actualisée nette, des capitaux propres investis et de la dette du projet.

Il est important de noter que les plages de coûts possibles indiquées dans RETScreen **n'incluent pas les taxes de vente**. Dans certains cas, les coûts liés aux projets d'exploitation d'énergie propre ne sont pas assujettis aux taxes de vente. L'utilisateur doit établir ce qu'il en est dans sa région au moment de préparer son évaluation. Par exemple, si, dans une région donnée, le coût d'un projet est assujetti à la taxe de vente, l'utilisateur doit ajouter le montant de cette taxe au coût du projet, tiré des valeurs fournies.

Étude de faisabilité

Le poste étude de faisabilité représente la somme des coûts engagés pour évaluer la faisabilité d'un projet. Ce montant est net de tout crédit, c'est-à-dire qu'il est déjà réduit de tous les coûts qu'il aurait fallu engager si on avait réalisé un projet conventionnel plutôt que le projet d'énergie propre.

De nombreux détails sont donnés dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* sur la façon d'évaluer les coûts des études de faisabilité. En effet, cela aide le promoteur du projet à mieux estimer les coûts du prochain investissement requis, soit celui dans l'étude de faisabilité. Il est possible que l'analyse RETScreen suffise comme analyse de faisabilité, surtout dans le cas de projets de faible envergure, et que l'on puisse passer directement à la phase d'ingénierie ou même directement à la réalisation du projet.

Note : Le logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergies propres peut être utilisé pour réaliser des études de faisabilité.

Développement

Le poste développement représente typiquement la somme des coûts engagés pour passer au stade de la conception détaillée et de la construction, une fois la faisabilité du projet établie. Ce montant est net de tout crédit, c'est-à-dire qu'il est déjà réduit de tous les coûts qu'il aurait fallu engager si on avait réalisé un projet conventionnel plutôt que le projet d'énergie propre.

Ingénierie

Le poste ingénierie représente typiquement la somme des coûts engagés pour passer du stade du développement à celui de la construction. On y inclut les coûts de surveillance des travaux. Ce montant est net de tout crédit, c'est-à-dire qu'il est déjà réduit de tous les coûts qu'il aurait fallu engager si on avait réalisé un projet conventionnel plutôt que le projet d'énergie propre.

Équipements énergétiques

Le poste équipements énergétiques représente typiquement la somme des coûts engagés pour l'achat et l'installation du matériel de production d'énergie moins les « crédits » qui pourraient être alloués en raison du fait qu'il ne sera pas nécessaire d'acheter ou d'installer l'équipement de référence.

Infrastructures connexes

Le poste infrastructures connexes représente la somme des coûts engagés pour l'achat, la construction et l'installation de tous les éléments du système d'exploitation d'énergie, qui ne sont pas considérés comme des équipements de production d'énergie. Les « crédits » qui pourraient être alloués en raison du fait qu'il ne sera pas nécessaire d'acheter ou d'installer l'équipement de référence doivent également être déduits de la somme.

Divers

Le poste « Divers » inclut tous les coûts qui ne sont pas pris en compte dans les autres catégories, et qui sont nécessaires à la mise en service opérationnel d'un projet.

Encouragements/subventions

L'utilisateur peut indiquer tout montant versé à titre d'encouragements ou de subventions à l'adoption d'un projet énergétique. Ce montant s'applique aux coûts d'investissement (excluant les crédits). Il sera considéré comme une subvention non remboursable et il sera traité comme un revenu de l'an 0 (phase de développement et d'implantation) dans le calcul de l'impôt sur les bénéfices.

Par exemple, au Canada, le Programme d'encouragement aux systèmes d'énergies renouvelables (PENSER) peut contribuer à 25 % des coûts de certains systèmes d'énergie renouvelable assurant

des besoins de chauffage ou de réfrigération. Cette contribution atteint 40 % dans le cas d'installations en régions éloignées. Pour plus d'information consulter le site Web du programme PENSER/REDI ou appeler le 1-877-722-6600.

Frais annuels et dette

Il s'agit des déboursements totaux annuels du projet. Cette valeur calculée par le modèle, représentent les frais annuels engagés pour exploiter, entretenir et financer le projet. C'est la somme des frais d'exploitation et d'entretien, des frais de combustible ou d'électricité et des paiements de la dette. Il est à noter que les déboursements annuels totaux incluent le remboursement de la partie « principale » de la dette, qui n'est pas, à strictement parler, un frais, mais une sortie de fonds. Ils sont décrits rapidement ci-après.

Exploitation et entretien

Les frais d'exploitation et entretien sont la somme des frais annuels qui doivent être engagés pour exploiter et entretenir le système d'énergie, en sus de ceux qu'exigerait le système de référence. Le modèle utilise les frais d'exploitation et d'entretien pour calculer le total annuel des frais et les flux monétaires annuels.

Combustible/Électricité

Le coût annuel de la consommation d'électricité nécessaire pour faire fonctionner le système de pompe à chaleur géothermique est transféré de la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Le coût annuel représente la somme des coûts de l'énergie et des frais liés à la puissance souscrite (le cas échéant). Il comprend les coûts liés aux opérations de chauffage et de refroidissement, de même que le coût de l'électricité consommée pour faire fonctionner le matériel auxiliaire (pompes, ventilateurs, etc.).

Paiements de la dette - durée de l'emprunt

Le modèle calcule les montants annuels à verser pour le remboursement du capital emprunté. Ces montants sont considérés comme constants pendant toute la durée de l'emprunt, cependant la partie de ce montant destinée au remboursement du capital (principal) augmente au cours du temps, alors que la partie consacrée aux intérêts diminue. Ils peuvent se comparer aux paiements d'un versement hypothécaire constant pendant toute la durée de l'emprunt. Les paiements de la dette sont calculés à partir du taux d'intérêt sur la dette, de la durée de l'emprunt et de la dette du projet.

Économies ou revenus annuels

On entend par total des économies annuelles les économies que l'on peut réaliser chaque année grâce à la mise en place du projet d'exploitation d'énergie. Du point de vue d'un producteur privé d'énergie ou d'une entreprise de services éco-énergétiques, ces économies peuvent être considérées comme des revenus. Elles sont directement liées aux « coûts évités en énergie de

chauffage et de climatisation ». Elles constituent une donnée d'entrée pour le calcul du retour simple et du recouvrement de la dette.

Énergie de chauffage

Le modèle calcule les économies d'énergie en chauffage, c'est à dire l'énergie qu'il aurait fallu acheter pour faire fonctionner le système de chauffage de référence. Les économies d'énergie de chauffage sont égales à l'énergie renouvelable fournie, multipliée par le coût évité en énergie de chauffage, multipliée par le pouvoir calorifique de la source d'énergie, le tout divisé par le rendement saisonnier du système de chauffage de référence. Les économies annuelles d'énergie en chauffage sont indexées au taux d'indexation de l'énergie.

Énergie de refroidissement

Le modèle calcule les économies de l'énergie de refroidissement, lesquelles représentent le coût additionnel qu'il aurait fallu payer si l'énergie de refroidissement avait été fournie par le système d'énergie de référence. Les économies de l'énergie de refroidissement sont égales au produit de la valeur relative à l'énergie de refroidissement fournie par le quotient de la division du prix de détail de l'électricité par le COP saisonnier du climatiseur ou conditionneur de référence. Quand le système de référence ne comporte pas la fonction de refroidissement, on inscrit la valeur zéro pour l'énergie de refroidissement. La valeur annuelle de l'énergie de refroidissement croît selon le taux d'indexation de l'énergie.

Crédit pour réduction de GES - durée du crédit

Le modèle calcule les revenus annuels du crédit pour réduction d'émissions de GES. Il s'agit des revenus (ou économies) générés par la vente ou l'échange de crédits pour réduction d'émissions de GES pendant la durée du crédit pour réduction d'émissions de GES. Cette valeur est calculée à partir de la réduction nette d'émissions de GES et du crédit pour réduction d'émissions de GES. Elle est indexée selon le taux d'indexation du crédit pour réduction d'émissions de GES.

Coûts périodiques (crédits)

Les coûts et les crédits périodiques sont entrés dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*, ces données sont automatiquement copiées dans la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Le modèle applique aux coûts ou crédits périodiques un taux d'indexation égal au taux d'inflation, pour chaque année écoulée à partir de l'an 1 du projet et pour toute sa durée de vie. Du point de vue des impôts sur les bénéfices, les coûts ou crédits périodiques ne sont pas considérés comme des dépenses en capital, mais plutôt comme des frais d'exploitation et d'entretien, entièrement dépensés pendant l'année où ils ont lieu.

Valeur résiduelle - Coût/Crédit

La valeur résiduelle du projet qui a été indiquée dans la feuille de calcul *Analyse des coûts* est automatiquement transférée dans cette cellule. Il s'agit soit d'une valeur réelle du projet à la fin de sa durée de vie, soit d'une dépense à prévoir pour son démantèlement.

La valeur entrée est présumée représentative de l'an 0, l'année de développement et de construction précédent la première année d'exploitation (an 1). Le modèle applique à la valeur résiduelle le taux d'inflation de l'an 1 jusqu'à la fin de vie du projet qui a été indiquée dans le modèle.

D'un point de vue fiscal, la différence entre la valeur résiduelle du projet et les coûts d'investissement non encore amortis à la fin du projet, est traitée comme un revenu si elle est positive, et comme une perte si elle est négative.

Analyse financière

Les résultats donnent au décideur divers indicateurs sur la viabilité financière du projet considéré.

Taux de rendement interne et retour sur investissement avant impôt

Le modèle calcule, en %, le taux de rendement interne (TRI) avant impôt, qui représente le rendement réel du projet pendant sa durée de vie avant impôt. On parle aussi à ce sujet de « rendement du capital investi » ou de « taux de rentabilité interne ». Ce taux est calculé en trouvant le taux d'actualisation qui ramène à 0 la valeur nette actualisée du projet. Il n'est donc pas nécessaire de choisir un taux d'actualisation d'une entreprise pour évaluer le taux de rendement interne. Les entreprises intéressées par un projet peuvent comparer le taux de rendement interne de celui-ci avec le taux requis (souvent, le coût du capital). Le TRI est calculé en tenant compte de l'inflation.

Si le taux de rendement interne du projet est égal ou supérieur au taux de rendement requis de l'entreprise, le projet peut être jugé financièrement acceptable, à risque équivalent. S'il est inférieur, le projet est habituellement rejeté. Une entreprise peut avoir différents taux de rendement souhaités, qui varient selon le risque attribué aux projets. L'avantage le plus évident qu'il y a à utiliser l'indicateur de taux de rendement interne pour évaluer un projet est que son issue ne dépend pas d'un taux d'actualisation particulier à une organisation donnée. Au contraire, le taux de rendement interne obtenu est propre au projet et vaut pour tous ceux qui investissent dans ce projet. Le modèle utilise les flux monétaires annuels avant impôt et la durée de vie du projet pour calculer le taux de rendement interne.

Taux de rendement interne et retour sur investissement après impôt

Le modèle calcule, en %, le taux de rendement interne (TRI) après impôt, qui représente le rendement réel du projet pendant sa durée de vie après impôt. On parle aussi à ce sujet de « rendement du capital propre investi » ou de « taux de rentabilité interne ». Ce taux est calculé en trouvant le taux d'actualisation qui ramène à 0 la valeur nette actualisée du projet. Il n'est donc pas nécessaire de choisir un taux d'actualisation d'une entreprise pour évaluer le taux de rendement interne. Les entreprises intéressées par un projet peuvent comparer le taux de rendement interne de celui-ci avec le taux requis (souvent, le coût du capital). Le TRI est calculé en tenant compte de l'inflation.

Si le taux de rendement interne du projet est égal ou supérieur au taux de rendement requis de l'entreprise, le projet peut être jugé financièrement acceptable, à risque équivalent. S'il est inférieur, le projet est habituellement rejeté. Une entreprise peut avoir différents taux de rendement souhaités, qui varient selon le risque attribué aux projets. L'avantage le plus évident qu'il y a à utiliser l'indicateur de taux de rendement interne pour évaluer un projet est que son issue ne dépend pas d'un taux d'actualisation particulier à une organisation donnée. Au contraire, le taux de rendement interne obtenu est propre au projet et vaut pour tous ceux qui investissent dans ce projet. Le modèle utilise les flux monétaires annuels après impôt et la durée de vie du projet pour calculer le taux de rendement interne.

Retour simple

Le modèle calcule le retour simple, soit le temps, en années, qu'il faut pour récupérer le coût initial du projet d'investissement grâce aux recettes qu'il génère. L'hypothèse de base de la méthode de la période de retour est la suivante : plus vite on peut récupérer le coût de l'investissement, plus celui-ci est souhaitable. Dans le cas de la mise en place d'un projet de pompe à chaleur géothermique, une période de remboursement négative indiquerait que les coûts annuels engagés sont plus élevés que les économies annuelles réalisées.

La méthode du retour simple ne permet pas de déterminer si un projet est plus rentable qu'un autre. C'est plutôt une mesure de temps, dans le sens qu'elle indique combien d'années de plus demandera le remboursement d'un projet, par rapport à un autre. **Le retour simple ne devrait pas être utilisé comme indicateur primaire pour l'évaluation d'un projet**, bien qu'il ait son utilité comme indicateur du degré de risque d'un investissement. De plus, la méthode du retour simple a le désavantage de ne pas tenir compte de la valeur temporelle de l'argent, ni de l'inflation.

D'un autre côté, la période de retour est souvent importante pour les petites entreprises qui ne disposent pas de beaucoup de liquidités. Dans ce cas, on pourra préférer un projet à courte période de retour, mais de faible taux de rendement, à un projet à taux de rendement plus élevé, mais demandant une période de retour plus longue. En effet, l'entreprise peut simplement désirer un retour plus rapide de son investissement en capital. Le modèle utilise les coûts totaux d'investissement, le total des frais annuels (excluant les paiements de la dette) et les économies

annuelles totales pour calculer le retour simple. Ce calcul est basé sur des montants avant impôt et comprend d'éventuelles mesures d'encouragements ou de subventions.

Année de flux monétaire nul

Le modèle calcule le nombre d'années qui s'écouleront avant que le flux monétaire cumulatif ne soit nul, soit le temps qu'il faudra au propriétaire du projet pour récupérer son investissement initial à même les recettes générées par le projet. L'année de flux monétaire nul est calculée en utilisant les flux monétaires à partir de l'an 1. Elle prend donc en compte l'effet de levier financier créé par le montant emprunté, ce qui donne un meilleur indicateur des avantages du projet que le retour simple. Le modèle utilise le numéro de l'année et le flux monétaire cumulatif après impôt pour calculer cette valeur.

L'année de flux monétaire nul est différente de la période de retour sur l'investissement actualisé car elle considère les valeurs nominales des flux monétaires futurs et non leur valeur actualisée.

Valeur actualisée nette (VAN)

Le modèle calcule la valeur actualisée nette (VAN) du projet, qui est la valeur de tous les flux monétaires futurs, actualisés selon le taux d'actualisation, en dollars courants. La VAN est donc calculée au temps 0 correspondant à la jonction entre la fin de l'an 0 et le début de l'an 1. Il s'agit de la différence entre la valeur actualisée des entrées et des sorties de fonds associées au projet. Une VAN positive est une indication que le projet est financièrement viable. En utilisant la méthode de la valeur actualisée nette, il faut choisir le taux d'actualisation qui permettra de convertir des flux monétaires en leurs valeurs présentes. Dans la pratique, les entreprises et organismes consacrent beaucoup de temps et d'études à ce choix. Le modèle calcule la VAN à partir des flux monétaires indiqués dans la colonne « après impôt », cumulés. Il est à noter que si l'utilisateur choisit de ne pas tenir compte des impôts, les valeurs des flux après impôt sont égales à celles avant impôt.

Économies annuelles sur la durée de vie

Le modèle calcule les économies annuelles sur le cycle de vie (économies globales annuelles), soit la valeur équivalente d'économies annuelles constantes, qui, sur une durée égale à celle du projet, donneraient la même valeur actualisée nette. Les économies annuelles sur le cycle de vie sont calculées à partir de la valeur actualisée nette, du taux d'actualisation et de la durée de vie du projet.

Ratio avantages-coûts

Le modèle calcule le ratio avantages-coûts net, qui est le rapport des bénéfices nets tirés du projet par les coûts afférents au projet. Les bénéfices nets représentent la valeur actualisée des revenus (ou économies) annuels moins les coûts annuels; alors que les coûts afférents au projet sont définis comme étant les capitaux propres investis.

Des ratios supérieurs à 1 sont représentatifs de projets rentables. Le ratio avantages-coûts net, semblable à l'indice de rentabilité, conduit aux mêmes conclusions que l'analyse de la valeur actualisée nette (VAN).

Calcul du coût de réduction de GES?

Une liste déroulante permet d'indiquer si l'on désire ou non connaître le coût de réduction d'émissions de GES. Afin de calculer la vraie valeur économique (et non financière) du coût de réduction d'émissions de GES, plusieurs paramètres doivent être choisis égaux à 0. Les paramètres qui doivent être mis à 0 sont les suivants : crédit pour réduction d'émissions de GES, ratio d'endettement, etc. De plus, il faut choisir « Non » à la rubrique « Analyse d'impôts sur le revenu? » et mettre à zéro toutes les valeurs de dettes. Le calcul de ce coût s'adresse surtout aux économistes car il demande une analyse rigoureuse des hypothèses nécessaires au calcul.

Coût de réduction d'émissions de GES

Le modèle calcule le coût de réduction d'émissions de GES. On obtient cette valeur en divisant les économies annuelles sur le cycle de vie par la réduction nette annuelle d'émissions de GES. Pour les projets avec une augmentation nette d'émissions de GES, cette donnée n'est pas pertinente et n'est donc pas calculée.

Capitaux propres investis

Le modèle calcule les capitaux propres investis dans le projet, soit la portion de l'investissement total du projet qui est financée directement par son ou ses propriétaires. Cette somme est considérée comme versée à la fin de l'an 0, soit à la fin de la phase de développement et de réalisation. Cette valeur est calculée à partir des coûts d'investissements totaux, des montants versés à titre d'encouragements ou subventions, et du ratio d'endettement.

Dette du projet

Le modèle calcule la dette du projet, soit la partie de l'investissement total du projet qui est financée par un emprunt. La dette du projet intervient dans le calcul des paiements de la dette et la valeur actualisée nette. Elle est calculée à partir des coûts initiaux totaux et des capitaux propres investis dans le projet.

Paiements de la dette

Le modèle calcule les paiements de la dette, soit la somme du principal et des intérêts payés chaque année sur la dette. Alors que les paiements sont constants pendant le terme de la dette, la partie « principal » augmente et la partie « intérêts » diminue avec le temps. À cet égard, la situation est semblable à celle des remboursements annuels d'une hypothèque résidentielle. Les paiements de la dette sont calculés à partir du taux d'intérêt sur la dette, de la durée de la dette et de la dette du projet.

Recouvrement de la dette

Le modèle calcule le recouvrement de la dette pour chaque année du projet et ne retient que la valeur la plus faible pendant la durée du remboursement de l'emprunt. Il s'agit du rapport entre les bénéfices ou les économies d'exploitation du projet (revenus annuels nets) et les paiements de la dette (capital et intérêts).

Cette valeur reflète la capacité du projet à générer les liquidités nécessaires pour honorer les paiements de la dette. Le recouvrement de la dette est donc un rapport très utilisé par les prêteurs potentiels pour juger du risque financier d'un projet. Le modèle considère que les flux monétaires cumulés sont d'abord utilisés pour constituer une réserve suffisante pour rembourser la dette avant d'être distribués aux actionnaires.

Flux monétaires annuels

Avant impôt

Le modèle calcule pour chaque année de la vie du projet, les flux monétaires nets avant impôt, c'est-à-dire l'estimation des sommes d'argent qui sont déboursées ou récoltées, avant impôt, tout au long de la vie du projet. On considère que les coûts d'investissement sont effectués à la fin de l'an 0, et que l'an 1 est la première année d'exploitation du projet. Par conséquent, les frais ou économies annuels de la feuille de calcul *Sommaire financier* sont indexés d'une année.

Après impôt

Le modèle calcule pour chaque année de la vie du projet, les flux monétaires nets après impôt, c'est-à-dire l'estimation des sommes d'argent qui sont déboursées ou récoltées, après impôt, tout au long de la vie du projet. On considère que les coûts d'investissement sont effectués à la fin de l'an 0, et que l'an 1 est la première année d'exploitation du projet. Par conséquent, les frais ou économies annuels de la feuille de calcul *Sommaire financier* sont indexés d'une année.

Cumulatif

Le modèle calcule les flux monétaires cumulatifs qui représentent les flux monétaires nets après impôt cumulés depuis l'année 0.

Graphique des flux monétaires cumulatifs

Le graphique des flux monétaires cumulatifs donne les flux monétaires cumulés en fonction du temps tels que présentés dans le tableau du flux monétaire cumulatif, pour chaque année.

Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES)

Dans cette section du logiciel RETScreen d'analyse de projets sur les énergies propres, la feuille de calcul *Analyse des GES* permet d'estimer le potentiel des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du projet analysé. Cette feuille de calcul comprend quatre sections principales : **Information générale, Système de référence, Système proposé (projet)** et **Sommaire des réductions d'émissions de GES**. La section « Information générale » présente de l'information générale sur le projet ainsi que des données relatives à l'impact sur le réchauffement global du climat (appelé « réchauffement planétaire ») de différents GES. Les sections « Réseau électrique de référence (niveau de référence) » et « Système de chauffage et de climatisation de référence » décrivent le profil des émissions de GES du système de référence, la base de comparaison de l'analyse. La section « Système de chauffage et de climatisation proposé » décrit le profil des émissions de GES du système proposé (ici, pompe à chaleur géothermique). La section « Sommaire des réductions d'émissions de GES » estime les réductions d'émissions de GES, d'après les données entrées par l'utilisateur dans les sections précédentes et d'après les valeurs entrées ou calculées dans les autres feuilles de calcul RETScreen (p. ex. énergie annuelle fournie). Les résultats sont calculés en tonnes équivalentes de CO_2 évitées par année. Cette analyse est optionnelle - les valeurs entrées dans cette feuille de calcul n'affecteront pas les résultats présentés dans les autres feuilles, sauf pour les rubriques reliées aux GES qui apparaissent dans la feuille de calcul *Sommaire financier* et Sensibilité .

Les gaz à effet de serre comprennent la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), l'ozone (O_3) et différents gaz de la famille des organochlorés (c.-à-d. les produits chimiques qui contiennent du carbone associé à du fluor, du chlore ou du brome). Les gaz à effet de serre permettent au rayonnement solaire d'entrer dans l'atmosphère terrestre, mais empêchent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre de s'échapper en l'absorbant. Les gaz à effet de serre ré-émettent alors partiellement cette énergie vers la terre, sous forme de radiation thermique, ce qui la réchauffe. Les gaz à effet de serre qui sont les plus pertinents aux projets d'analyse énergétique sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O); RETScreen ne considère donc que ces gaz dans son analyse des réductions d'émissions de GES.

La feuille de calcul *Analyse des GES* de chaque projet a été élaborée selon un schéma commun, de manière à simplifier la tâche de l'utilisateur dans l'analyse de la viabilité des projets. Ainsi, la description de chaque paramètre est commune à la plupart des rubriques qui apparaissent dans les feuilles de calcul *Analyse des GES*. Pour les décideurs, un des principaux avantages de RETScreen est qu'il facilite le processus d'évaluation de projets.

Par ces différentes rubriques, la feuille de calcul *Analyse des GES*, permet aux décideurs d'évaluer relativement facilement, l'impact de plusieurs variables (p. ex. proportion des modes de production, rendement de conversion de l'énergie) sur les émissions de GES présenté dans les résultats (p. ex. facteur d'émissions de GES) d'un projet particulier. Cependant, l'utilisateur doit savoir que cette facilité d'évaluation peut présenter au promoteur une vue d'ensemble simplifiée et trop optimiste du projet en matière d'exigences encadrant la détermination du niveau de

référence d'un projet. Il est donc suggéré à l'utilisateur de **prendre une approche conservatrice dans le calcul du facteur d'émissions de GES du niveau de référence**, particulièrement au stade de l'analyse de préfaisabilité. Pour évaluer les bénéfices nets découlant d'un financement par l'utilisation des crédits d'émissions du projet, l'utilisateur devrait évaluer le projet deux fois; une première fois en tenant compte de la valeur des crédits d'émissions et des frais de transaction associés et une seconde fois sans en tenir compte, pour pouvoir comparer les résultats.

Utiliser la feuille Analyse des GES?

L'utilisateur indique s'il utilise ou non la feuille de calcul *Analyse des GES* pour faire une analyse des réductions de GES en sélectionnant la réponse appropriée dans la liste déroulante de la cellule d'entrée.

Si l'utilisateur sélectionne « Oui », il devra alors compléter la feuille de calcul *Analyse des GES*. Certaines valeurs d'entrées seront ajoutées à la feuille de calcul *Sommaire financier* afin de calculer d'éventuels crédits ou coûts liés aux réductions d'émissions de GES.

Si l'utilisateur sélectionne « Non », il peut aller directement à la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Type d'analyse

L'utilisateur sélectionne le type d'analyse désirée à partir des deux options offertes dans la liste déroulante : « Standard » et « Personnalisé ». Pour une analyse « Standard », le logiciel utilisera plusieurs paramètres prédéfinis pour faire ces calculs. Pour une analyse de type « Personnalisé », ces paramètres devront être entrés par l'utilisateur.

Information générale

Nom du projet

Le nom du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Lieu du projet

Le lieu du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Potentiel de réchauffement planétaire des GES

Le modèle indique le potentiel de réchauffement planétaire du méthane (CH_4) et de l'oxyde nitreux (N_2O). Si l'utilisateur a sélectionné l'analyse de type « Personnalisé », d'autres valeurs que celles proposées par défaut par le logiciel peuvent être entrées. Des valeurs de « potentiel de

réchauffement planétaire » de différents gaz à effet de serre sont proposées par des experts pour permettre de comparer leur capacité relative à piéger l'énergie thermique dans l'atmosphère. Plus le potentiel de réchauffement d'un gaz est élevé, plus sa contribution à favoriser l'effet de serre est élevée. Par exemple, l'oxyde nitreux (N_2O) a 310 fois plus d'efficacité que le dioxyde de carbone (CO_2) pour piéger l'énergie thermique dans l'atmosphère.

Le potentiel de réchauffement planétaire est donné par rapport au dioxyde de carbone (CO_2) qui a une valeur de référence de 1 (c.-à-d. que le potentiel de réchauffement planétaire du CO_2 est 1 et celui du N_2O est 310). Les valeurs par défaut proposées par le logiciel sont tirées de la version révisée des Lignes Directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les inventaires de gaz à effet de serre, 1996.

Réseau électrique de référence (niveau de référence)

Pour réaliser une analyse RETScreen des réductions d'émissions de GES pour un projet de pompe à chaleur géothermique, l'utilisateur doit définir un réseau électrique de référence. Il suffit souvent de définir une centrale de production d'énergie électrique utilisant les sources conventionnelles d'énergie typiques de la région.

Ainsi, en Amérique du Nord, lorsque l'on prépare une analyse des réductions d'émissions de GES d'un système de pompe à chaleur géothermique, on peut la comparer à une centrale au gaz naturel à cycle combiné. Dans ce cas, l'utilisateur n'a qu'à sélectionner « Gaz naturel » comme source d'énergie avec une valeur de 100 % comme proportion des sources d'énergie. La valeur par défaut de 8 % peut être utilisée sous la rubrique « Pertes de transport et de distribution ». Dans le cas d'un endroit isolé, sans raccordement à un réseau électrique, on peut considérer une génératrice diesel comme centrale équivalente avec « Diesel (mazout #2) » comme source d'énergie.

On peut aussi simuler un réseau de plusieurs centrales électriques interconnectées, en réalisant une moyenne pondérée en fonction de leur production électrique, de leur source d'énergie respective et de leurs pertes de transport et de distribution (p. ex. des installations photovoltaïques décentralisées auront, en général, des pertes de transport et de distribution inférieures aux autres centrales). Ce genre d'information est habituellement disponible auprès de la régie locale de l'énergie ou du gouvernement. Ainsi, l'« United States Environmental Protection Agency (US-EPA) » tient à jour une banque de données nommée E-GRID, « The Emissions & Generation Resource Integrated Database ». Cette banque de données présente les caractéristiques environnementales des centrales électriques, incluant leur source respective d'énergie primaire. Cette banque de données est disponible gratuitement sur le site Internet E-GRID.

Pour illustrer cette méthode d'analyse, prenons l'exemple d'un projet de pompe à chaleur géothermique en Nouvelle-Écosse au Canada. Le gouvernement provincial pourrait déterminer que le niveau de référence doit être basé sur une moyenne pondérée selon les proportions des modes de production. Ceci peut être calculé en entrant simplement les proportions des modes dans le réseau avec les coefficients d'émissions appropriés. L'information fournie par Ressources naturelles Canada, permet de dresser la répartition suivante des sources d'énergie primaire :

charbon 78 %, hydroélectricité 9 %, mazout (#6) 5 %, gaz naturel 5 % et biomasse 3 %, avec une moyenne globale de 8 % de pertes pour le transport et la distribution d'électricité.

Certains utilisateurs préféreront réaliser des analyses des réductions d'émissions de GES plus détaillées pour leur projet (p. ex. un économiste travaillant pour une commission publique). Le modèle permet des analyses plus détaillées en sélectionnant « Personnalisé » dans la liste déroulante de la rubrique « Type d'analyse ». L'utilisateur pourra alors définir ses propres valeurs de facteurs d'émissions, etc.

Si le promoteur du projet peut avoir accès aux modèles d'utilisation des capacités de production de la compagnie d'électricité, il pourra utiliser les données du réseau électrique de référence pour déterminer la consommation de combustible à la marge sur le réseau. De cette façon, le carburant et les émissions qui seraient déplacés par la mise sur pied du projet pourraient être évalués avec plus d'exactitude. Par exemple, si le modèle d'utilisation des capacités de production de la compagnie d'électricité montre que les combustibles utilisées à la marge sont le gaz naturel, 85 % du temps et l'huile, 15 % du temps, l'utilisateur pourrait entrer ces renseignements dans le tableau du scénario de référence avec les coefficients d'émission de GES correspondants. Le niveau de référence résultant est souvent qualifié de « marge de fonctionnement ou d'opération ».

Une autre option de référence appelée « marge à la construction » peut être évaluée en modélisant les installations énergétiques récemment construites; par exemple : les 5 centrales les plus récentes à avoir été ajoutées au réseau. Pour modéliser la marge à la construction, il faut entrer dans les données du réseau électrique de référence, les installations énergétiques récentes accompagnées de leur puissance relative (ramenée à un total de 100 %) et de leurs coefficients d'émissions de GES.

Il est conseillé de suivre une approche conservatrice dans le calcul des facteurs de référence des émissions, particulièrement à l'étape de l'analyse de prefaisabilité.

Mode de production

L'utilisateur sélectionne le mode de production à partir des options offertes dans la liste déroulante. Le logiciel RETScreen peut modéliser les émissions de GES de n'importe quelle centrale de production d'électricité. La rubrique mode de production fait référence aux sources d'énergie qui seront déplacées par le projet d'énergie. Lorsque l'utilisateur sélectionne une source d'énergie dans la liste déroulante de cette rubrique, des valeurs par défaut de facteurs d'émissions et une valeur par défaut de rendement de conversion de l'énergie sont automatiquement insérées dans les colonnes correspondantes du tableau. Ces valeurs par défaut sont données dans le tableau ci-dessous [Fenhann, J., 1999], [Fenhann, J., 2000] et [The Danish Energy Agency, 1999].

Pour un projet de type « Personnalisé », si la source d'énergie n'est pas disponible dans la liste déroulante, l'utilisateur choisit « Autre » et entre manuellement les valeurs dans les colonnes correspondantes. L'ordre dans lequel les sources d'énergie sont entrées dans le tableau n'a pas d'importance.

Source d'énergie	Facteur d'émissions de CO_2 (kg/GJ)	Facteur d'émissions de CH_4 (kg/GJ)	Facteur d'émissions de N_2O (kg/GJ)	Rendement de conversion de l'énergie %
Charbon	94.6	0.0020	0.0030	35%
Gaz naturel	56.1	0.0030	0.0010	45%
Nucléaire	0	0	0	-
Grande hydroélectricité	0	0	0	-
Mazout #6	77.4	0.0030	0.0020	30%
Diesel (mazout #2)	74.1	0.0020	0.0020	30%
Géothermique	0	0	0	-
Biomasse	0	0.0320	0.0040	25%
Petite hydroélectricité	0	0	0	-
Éolien	0	0	0	-
Solaire	0	0	0	-
Propane	63.1	0.0010	0.0010	45%

Facteurs d'émissions et rendements de conversion par défaut

Proportion des modes

L'utilisateur entre la proportion (%) de chaque mode de production du réseau électrique de référence. La proportion correspond à un pourcentage du total de l'énergie électrique fournie au réseau. La somme des proportions doit donc être égale à 100 %.

Facteur d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O

(Analyse de type personnalisé)

L'utilisateur entre les facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O pour chacun des différents modes de production d'électricité du réseau de référence. Les facteurs sont exprimés en masse de GES émis par unité d'énergie thermique. Les facteurs d'émissions varieront selon le type et la qualité de la source d'énergie, et selon le type et la grosseur de la centrale de production d'électricité. Pour les projets avec raccordement à un réseau central, l'utilisateur devra entrer des facteurs d'émissions de GES qui seront représentatifs de ce réseau, c'est-à-dire, pour une assez grosse centrale électrique. Le modèle calcule, par unité d'électricité fournie, la moyenne pondérée du facteur global d'émissions de toutes les centrales utilisant des sources différentes d'énergie primaire. Le modèle présente les résultats dans la ligne mélange d'électricité située dans le bas du tableau. Le mélange d'électricité ainsi calculé tient compte du rendement de conversion de l'énergie et des pertes de transport et de distribution pour chaque mode de production.

Pour chaque mode de production sélectionné, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émit par gigajoule d'énergie thermique générée (kg/GJ). Pour le mélange d'électricité global situé dans la ligne au bas du tableau, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émit par gigajoule d'électricité nette fournie au réseau électrique.

Pour plus d'information sur la façon de déterminer les facteurs d'émissions de GES, consulter le guide « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Les facteurs d'émissions de CO_2 de plusieurs sources d'énergie sont donnés à la page 1.13 du manuel

de référence « IPCC Reference Manual » (disponible en anglais seulement). Les facteurs d'émissions de CH_4 et de N_2O de différentes sources d'énergie primaire sont donnés dans les pages 1.35 et 1.36 du manuel de référence « IPCC Reference Manual ».

Facteur d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O

(Analyse de type standard)

Le modèle propose des facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O pour les modes de production d'électricité sélectionnés. Les facteurs sont exprimés en masse de GES émis par unité d'énergie thermique. Les facteurs d'émissions varieront selon le type et la qualité de la source d'énergie, et selon le type et la grosseur de la centrale de production d'électricité. Les facteurs d'émissions proposés par défaut par le modèle sont représentatifs de centrale de production d'électricité de taille importante qui alimenterait un réseau central. Le modèle calcule la moyenne pondérée du facteur global d'émissions de tous les modes de production des différentes centrales par unité d'électricité fournie et présente les résultats dans la rangée mélange d'électricité située dans le bas du tableau. Le mélange global d'électricité ainsi calculé tient compte du rendement de conversion de l'énergie et des pertes de transport et de distribution pour chaque mode de production.

Pour chaque mode de production sélectionné, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émit par gigajoule d'énergie thermique générée (kg/GJ). Pour le mélange d'électricité global situé dans la rangée au bas du tableau, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émit par gigajoule d'électricité nette fournie au réseau électrique.

Pour plus d'information sur la façon de déterminer les facteurs d'émissions de GES, consulter le guide « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Les facteurs d'émissions de CO_2 de plusieurs sources d'énergie sont donnés à la page 1.13 du manuel de référence « IPCC Reference Manual » (disponible en anglais seulement). Les facteurs d'émissions de CH_4 et de N_2O de différentes sources d'énergie primaire sont donnés dans les pages 1.35 et 1.36 du manuel de référence « IPCC Reference Manual ».

Les valeurs par défaut proposées par le modèle sont présentées dans le tableau des facteurs d'émissions et rendements de conversion par défaut.

Rendement de conversion

(Analyse de type personnalisé)

L'utilisateur entre le rendement de conversion de l'énergie pour chaque mode de production du réseau électrique de référence. Le rendement de conversion représente l'efficacité de conversion de l'énergie primaire en électricité. Cette valeur est utilisée pour calculer le facteur global d'émissions de GES pour chaque mode de production, ainsi, elle n'est pertinente que pour les modes de production qui produisent des GES (c.-à-d. avec des valeurs non nulles de facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 ou N_2O).

Par exemple, une centrale typique de production d'électricité alimentée au charbon peut avoir un rendement de conversion de l'énergie de 35 %. Cela indique que seulement 35 % de l'énergie

thermique que génère le charbon est transformée en électricité utile.

Les unités sont exprimées en pourcentage et représentent le rapport entre l'énergie électrique utile (gigajoules d'électricité) et l'énergie primaire nécessaire à sa production (gigajoules d'énergie thermique). Les modes de production électrique qui ne produisent pas de GES (p. ex. le solaire) ont une valeur par défaut de 100 %.

Rendement de conversion de l'énergie

(Analyse de type standard)

Le modèle propose un rendement de conversion pour le mode de production sélectionné. Le rendement de conversion représente l'efficacité de conversion de l'énergie primaire en électricité utile. Cette valeur est utilisée pour calculer le facteur global d'émissions de GES pour chaque mode de production, ainsi, elle n'est pertinente que pour les modes de production qui produisent des GES (c.-à-d. avec des valeurs non nulles de facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 ou N_2O).

Par exemple, une centrale typique de production d'électricité alimentée au charbon peut avoir un rendement de conversion de l'énergie de 35 %. Cela indique que seulement 35 % de l'énergie thermique que génère le charbon est transformée en électricité utile.

Les unités sont exprimées en pourcentage et représente le rapport entre l'énergie électrique utile (gigajoules d'électricité) et l'énergie primaire nécessaire à sa production (gigajoules d'énergie thermique). Les modes de production de l'énergie qui ne produisent pas de GES (p. ex. le solaire) ont une valeur par défaut de 100 %.

Les valeurs par défaut proposées par le modèle sont présentées dans le tableau des facteurs d'émissions et rendements de conversion par défaut.

Pertes de transport et de distribution

L'utilisateur entre les pertes de transport et de distribution (%) du réseau électrique de référence, qui incluent toutes les pertes d'énergie entre la centrale électrique et le point de consommation. Cette valeur varie en fonction de la tension des lignes électriques, de la distance entre le point de production et le site d'utilisation, des charges de pointe, de la température ambiante et même du vol possible d'électricité. De plus, le type de technologie utilisée pour le transport d'électricité (p. ex. CA ou CC) et la qualité de l'onde peuvent aussi influencer les pertes. Le modèle calcule la moyenne pondérée des pertes globales de transport et de distribution de tous les modes de production électrique et présente les résultats dans la rangée mélange d'électricité située dans le bas du tableau.

Les unités sont exprimées en pourcentage et représentent le rapport entre toutes les pertes électriques et l'électricité générée. Les pertes de transport et de distribution sont de l'ordre de 8 à 10 % pour un réseau moderne et de 10 à 20 % pour un réseau situé dans un pays en développement.

Facteur d'émissions de GES

Le modèle calcule le facteur d'émissions de GES pour chaque mode de production. Pour chaque mode de production, cette valeur est calculée à partir des valeurs individuelles des facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O, du rendement de conversion de l'énergie et des pertes de transport et de distribution. Le modèle calcule ensuite le facteur moyen pondéré d'émissions de GES du mélange global d'électricité et présente le résultat dans la rangée au bas du tableau.

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 par mégawatt-heure d'électricité utile fournie (t_{CO2}/MWh).

Système de chauffage et de climatisation de référence

Le système de chauffage et de climatisation de référence est le système auquel on compare le système de pompe à chaleur géothermique. Il est défini par la source d'énergie utilisée, les émissions de GES qu'il génère et un rendement saisonnier.

Notez que dans tous les cas, le système de climatisation de référence est considéré être alimenté par de l'électricité définie par le mélange d'électricité du réseau électrique de référence.

Source d'énergie

Il s'agit de la source d'énergie du système de chauffage de référence qui a été choisie dans la feuille de calcul *Modèle énergétique* et qui est automatiquement transférée dans la feuille *Analyse des GES*.

Pour tous les cas, la source d'énergie du système de climatisation de référence est considérée être de l'électricité.

Proportion des sources d'énergie

Le système de chauffage et de climatisation de référence est considéré par le modèle comme étant alimenté par une seule source d'énergie dont la proportion est donc de 100 %.

Facteur d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O

(Analyse de type personnalisé)

Pour le système de chauffage de référence, l'utilisateur entre les facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O correspondant à la source d'énergie de chauffage utilisée. Si la source de chauffage de référence est l'électricité le modèle choisit les facteurs d'émissions du réseau électrique de référence. Dans le cas du système de climatisation de référence, les facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O du mélange d'électricité du réseau électrique de référence sont utilisés.

Les facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O sont exprimés en masse de GES émis par unité d'énergie thermique produite. Les facteurs d'émissions varieront selon le type et la qualité de la source d'énergie, et selon le type et la grosseur du système de chauffage.

Pour chaque mode de production sélectionné, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émis par gigajoule d'énergie de chauffage et de climatisation générée (kg/GJ).

Pour plus d'information sur la façon de déterminer les facteurs d'émissions de GES, consulter le guide « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Les facteurs d'émissions de CO_2 de plusieurs sources d'énergie sont donnés à la page 1.13 du manuel de référence « IPCC Reference Manual » (disponible en anglais seulement). Les facteurs d'émissions de CH_4 et de N_2O de différentes sources d'énergie primaire sont donnés dans les pages 1.35 et 1.36 du manuel de référence « IPCC Reference Manual ».

Facteur d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O

(Analyse de type standard)

Le modèle propose des facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O correspondant à la source d'énergie de chauffage utilisée. Si la source de chauffage de référence est l'électricité le modèle choisit les facteurs d'émissions du réseau électrique de référence. Dans le cas du système de climatisation de référence, les facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O du mélange d'électricité du réseau électrique de référence sont utilisés.

Les facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O sont exprimés en masse de GES émis par unité d'énergie thermique produite. Les facteurs d'émissions varieront selon le type et la qualité de la source d'énergie, et selon le type et la grosseur du système de chauffage. Les valeurs par défaut qui sont proposées sont celles représentatives de grosses installations de chauffage. Pour de plus petites chaufferies ou plus de précision, l'utilisateur peut choisir le type d'analyse « Personnalisé » et entrer lui-même les différents facteurs d'émissions.

Pour chaque mode de production sélectionné, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émis par gigajoule d'énergie de chauffage et de climatisation générée (kg/GJ).

Pour plus d'information sur la façon de déterminer les facteurs d'émissions de GES, consulter le guide « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Les facteurs d'émissions de CO_2 de plusieurs sources d'énergie sont donnés à la page 1.13 du manuel de référence « IPCC Reference Manual » (disponible en anglais seulement). Les facteurs d'émissions de CH_4 et de N_2O de différentes sources d'énergie primaire sont donnés dans les pages 1.35 et 1.36 du manuel de référence « IPCC Reference Manual ».

Les valeurs par défaut proposées par le modèle sont présentées dans le tableau des facteurs d'émissions et rendements de conversion par défaut.

Rendement de conversion

Les rendements de conversion de l'énergie des systèmes de chauffage et de climatisation de référence ont été entrés dans la feuille de calcul *Modèle énergétique* et se trouvent automatiquement transférés dans la feuille de calcul *Analyse des GES* . Il s'agit d'un rendement saisonnier, c'est-à-dire du rapport entre la quantité annuelle de chaleur, ou de climatisation, utile produite et la quantité annuelle d'énergie primaire utilisée. Cette valeur est utilisée, conjointement avec les facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O, pour calculer le facteur global d'émissions de GES et n'est utile à considérer que pour les sources d'énergie primaire générant des émissions de GES.

Les unités sont exprimées en pourcentage et représente le rapport entre l'énergie de chauffage (ou de climatisation) des locaux produite et l'énergie primaire utilisée.

Facteur d'émissions de GES

Le modèle calcule le facteur d'émissions de GES pour le système de chauffage et de climatisation de référence. Cette valeur est calculée à partir des valeurs individuelles des facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O et des rendements de conversion de l'énergie. Le modèle calcule ensuite le facteur moyen pondéré d'émissions de GES et présente le résultat dans la rangée au bas du tableau.

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 par mégawatt-heure d'énergie utile fournie pour le chauffage (ou la climatisation) des locaux (t_{CO2}/MWh).

Système de chauffage et de climatisation proposé (projet)

Le système de chauffage et de climatisation proposé comme mesure d'atténuation des émissions de GES, est un système de pompe à chaleur géothermique. Il est défini par ses sources d'énergie, ses émissions de GES et ses rendements saisonniers. Dans tous les cas, l'énergie électrique utilisée par le système de pompe à chaleur est considérée provenir du réseau électrique de référence.

Source d'énergie

Le système de pompe à chaleur géothermique est considéré comme étant alimenté par de l'électricité, autant pour le chauffage que la climatisation.

Proportion des sources d'énergie

Le système de pompe à chaleur géothermique est considéré par le modèle comme étant alimenté par une seule source d'énergie, c'est-à-dire l'électricité, qui vaut donc 100 %.

Facteur d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O

Le modèle propose automatiquement les facteurs d'émissions de CO_2, CH_4 et N_2O correspondant à la source d'énergie, i.e. l'électricité utilisée pour faire fonctionner la pompe à chaleur géothermique. Ces valeurs correspondent aux facteurs d'émissions du réseau électrique de référence.

Pour chaque mode de production sélectionné, les unités sont exprimées en kilogrammes de gaz émis par gigajoule d'électricité utilisée par le système de pompe à chaleur géothermique pour les modes de chauffage et de climatisation (kg/GJ).

Rendement de conversion

Le modèle calcule le rendement de conversion de l'énergie dans la feuille de calcul *Modèle énergétique* et la valeur est transférée dans la feuille de calcul *Analyse des GES*. Les rendements de conversion de l'énergie de chauffage et de climatisation correspondent respectivement au « COP saisonnier en chauffage » et au « COP saisonnier en climatisation », comme présenté dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Le rendement de conversion de l'énergie représente la moyenne annuelle du rendement de la conversion de l'énergie électrique à l'énergie de chauffage et climatisation des locaux. Cette valeur est utilisée, conjointement avec les facteurs d'émissions du CO_2, CH_4 et N_2O, pour calculer le facteur global d'émissions de GES pour le projet de pompe à chaleur géothermique.

Les unités sont exprimées en pourcentage et représente le rapport entre l'énergie de chauffage (ou de climatisation) des locaux produite et l'électricité utilisée.

Facteur d'émissions de GES

Le modèle calcule le facteur d'émissions de GES pour le projet de pompe à chaleur géothermique. Cette valeur est calculée à partir des valeurs individuelles des facteurs d'émissions de chacun des GES : CO_2, CH_4 et N_2O et du rendement de conversion de l'énergie.

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 émis par mégawatt-heure d'énergie utile fournie pour le chauffage (ou la climatisation) des locaux (t_{CO2}/MWh).

Sommaire des réductions d'émissions de GES

Le modèle calcule la réduction annuelle d'émissions de GES lorsque le système de référence est remplacé par le projet de pompe à chaleur géothermique. Ce calcul est basé sur les données d'entrées d'émissions de GES.

Facteur d'émissions de GES du cas de référence

Le modèle transfère sous cette rubrique le facteur d'émissions de GES du cas de référence qui a été calculé dans la section « Système de chauffage et de climatisation de référence ». Cette valeur représente la quantité de GES émise par unité d'énergie utile fournie pour le cas de référence pour le chauffage et la climatisation des locaux. Le facteur d'émissions de GES du système de climatisation de référence est considéré comme étant nul dans les cas où il n'y a pas d'air climatisé.

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 émises par mégawatt-heure d'énergie utile fournie pour le chauffage (ou la climatisation) des locaux (t_{CO2}/MWh).

Facteur d'émissions de GES du cas proposé

Le modèle transfère sous cette rubrique le facteur d'émissions de GES du projet proposé qui a été calculé dans la section « Système de chauffage et de climatisation proposé ». Cette valeur représente la quantité de GES émise par unité d'énergie de chauffage et de climatisation des locaux fournie par le système de pompe à chaleur géothermique (système de chauffage proposée).

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 émises par mégawatt-heure d'énergie utile fournie pour le chauffage (ou la climatisation) des locaux (t_{CO2}/MWh).

Énergie annuelle utile fournie

Le modèle indique la quantité d'énergie de chauffage et de climatisation utile produite par le système de pompe à chaleur géothermique, telle que calculée dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Les unités sont exprimées mégawatt-heure d'énergie utile fournie pour le chauffage (ou la climatisation) des locaux (MWh).

Réduction annuelle d'émissions de GES

Le modèle calcul la réduction annuelle d'émissions de GES lorsque le système de référence est remplacé par le projet de pompe à chaleur géothermique. Ce calcul est basé sur les facteurs d'émissions comparés de GES du cas de référence et du cas proposé, ainsi que sur l'énergie annuelle utile fournie par le système de pompe à chaleur géothermique.

Les unités sont exprimées en tonnes équivalentes de CO_2 émises par année (t_{CO2}/an).

Note : À cette étape, l'utilisateur peut compléter la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Analyse de sensibilité et de risque

La feuille de calcul *Analyse de sensibilité et de risque*, du logiciel RETScreen d'analyse de projets d'énergie propre, permet à l'utilisateur d'évaluer la sensibilité des indicateurs financiers importants aux variations des paramètres techniques et financiers clés. Cette feuille de calcul contient deux sections principales : **l'analyse de sensibilité** et **l'analyse de risque**. Chaque section fournit des renseignements sur les relations entre les paramètres clés et les indicateurs financiers importants, illustrant quels paramètres ont le plus d'impact sur les indicateurs financiers. L'analyse de sensibilité est prévue pour un usage général alors que l'analyse de risque, laquelle exécute une simulation de type Monte Carlo, s'adresse à des utilisateurs qui possèdent des connaissances en statistiques.

Les deux analyses sont optionnelles. Les données entrées sur cette feuille de calcul n'affecteront pas les résultats des autres feuilles de calcul.

Utiliser la feuille d'analyse de sensibilité?

En sélectionnant à partir de la liste déroulante, l'utilisateur indique s'il désire utiliser la feuille de calcul optionnelle *Analyse de sensibilité et de risque* pour réaliser une analyse de sensibilité sur les indicateurs financiers importants.

Si l'utilisateur choisi « Oui » dans la liste déroulante, la section d'analyse de sensibilité s'ouvrira et l'utilisateur pourra compléter la partie supérieure de la feuille de calcul. L'utilisateur devra cliquer sur le bouton « Cliquer ici pour calculer l'analyse de sensibilité » afin d'obtenir les résultats.

Effectuer aussi l'analyse de risque?

En sélectionnant à partir de la liste déroulante, l'utilisateur indique s'il désire utiliser la section optionnelle d'analyse de risque pour réaliser une telle analyse en plus de l'analyse de sensibilité. Dans la section d'analyse de risque, l'impact de chaque donnée d'entrée sur l'indicateur financier sélectionné est calculé en appliquant une régression linéaire multiple normalisée sur l'indicateur financier.

Si l'utilisateur choisi « Oui » dans la liste déroulante, la section d'analyse de risque s'ouvrira et l'utilisateur pourra compléter la partie inférieure de la feuille de calcul. L'analyse effectuée portera sur l'indicateur financier sélectionné par l'utilisateur dans le champ « Effectuer l'analyse sur » en haut à droite. L'utilisateur devra cliquer sur le bouton « Cliquer ici pour calculer l'analyse de risque » de la section Analyse de risque dans la partie inférieure de la feuille de calcul afin d'obtenir les résultats.

Nom du projet

Le nom du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Lieu du projet

Le lieu du projet est donné à titre de référence seulement, tel qu'entré par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*.

Effectuer l'analyse sur

Parmi les trois options de la liste déroulante, l'utilisateur choisit l'indicateur financier à utiliser pour l'analyse de sensibilité et l'analyse de risque. Modifier cette sélection entraînera un changement des résultats sur toute la feuille de calcul.

Plage de sensibilité

L'utilisateur entre la valeur de la plage de sensibilité (%) qui définie le pourcentage maximal de variation appliquée aux paramètres clés dans les tableaux des résultats de l'analyse de sensibilité. Chaque valeur des paramètres est variée de l'une des fractions suivantes de la plage de sensibilité : -1, -1/2, 0, 1/2, 1. Ce seuil est uniquement utilisé dans la section d'analyse de sensibilité.

La plage de sensibilité entrée par l'utilisateur doit être un pourcentage compris entre 0 et 50 %.

Seuil

L'utilisateur entre la valeur de seuil pour l'indicateur financier sélectionné. Le seuil est la valeur sous laquelle (pour le « TRI et RI après impôt » et la « Valeur actualisée nette - VAN » ou au-dessus de laquelle (pour l'« Année de flux monétaire nul ») l'utilisateur considère que le projet n'est pas financièrement viable. Des résultats qui indiquent un projet non viable, tel que défini par le seuil, apparaîtront dans des cellules de couleur orange à l'intérieur des tableaux de résultats de l'analyse de sensibilité. Ce seuil est uniquement utilisé dans la section d'analyse de sensibilité.

Cliquer ici pour calculer l'analyse de sensibilité

Le bouton « Cliquer ici pour calculer l'analyse de sensibilité » permet de mettre à jour les calculs de l'analyse de sensibilité avec les paramètres entrés par l'utilisateur (c.-à-d. les paramètres entrés dans les champs « Effectuer l'analyse sur » et « Plage de sensibilité »). Les résultats dans les tableaux de l'analyse de sensibilité sont mis à jour seulement si l'utilisateur clique sur ce bouton.

Les calculs reliés à l'analyse de sensibilité peuvent prendre jusqu'à 15 secondes à s'effectuer selon la version d'Excel et la vitesse de l'ordinateur. Lorsque l'analyse de sensibilité est mise à jour, le bouton disparaît.

Si l'utilisateur modifie un paramètre ou s'il navigue dans une autre feuille de calcul du modèle, le bouton réapparaîtra. L'utilisateur pourra alors cliquer de nouveau sur celui-ci de façon à ce que l'analyse de sensibilité soit actualisée et qu'elle reflète les modifications apportées.

Analyse de sensibilité sur ...

Cette section affiche les résultats de l'analyse de sensibilité. Chaque tableau présente les changements de l'indicateur financier sélectionné (p. ex. TRI et RI après impôt) suite aux variations, selon les pourcentages indiqués, de deux paramètres (p. ex. coûts d'investissement et coût évité en énergie de chauffage). Les paramètres varient en fonction des fractions suivantes de la plage de sensibilité : -1, -1/2, 0, 1/2, 1. Les valeurs nominales (celles qui apparaissent dans le *Sommaire financier*) sont affichées en gras dans les tableaux des résultats de l'analyse de sensibilité.

Des résultats qui indiquent un projet non viable, tel que défini par le seuil entré par l'utilisateur, apparaîtront dans des cellules de couleur orange à l'intérieur des tableaux de résultats de l'analyse de sensibilité.

Toutes les valeurs des paramètres utilisés dans les calculs de l'analyse de sensibilité proviennent de la feuille de calcul *Sommaire financier*. Cela représente une certaine limitation pour la feuille d'analyse de sensibilité puisque certains paramètres sont calculés à partir de données en provenance d'autres feuilles de calcul du modèle et dont on suppose qu'ils sont constants. Cela dit, cette restriction est généralement sans conséquence. Si nécessaire, l'utilisateur peut se servir d'une feuille de calcul vierge (Feuille1, etc.) pour effectuer une analyse plus détaillée.

Analyse de risque sur ...

Cette section permet à l'utilisateur d'effectuer une analyse de risque en spécifiant l'incertitude associée à plusieurs paramètres clés pour évaluer l'impact qu'a cette incertitude sur le TRI et RI après impôt, l'année de flux monétaire nul ou la valeur actualisée nette (VAN).

L'analyse de risque exécute une simulation de type Monte Carlo avec 500 combinaisons possibles de variables d'entrée pour générer 500 valeurs de TRI et RI après impôt, d'années de flux monétaire nul ou de valeur actualisée nette (VAN). En observant la distribution des résultats possibles, l'utilisateur peut évaluer si la variabilité de l'indicateur financier est acceptable ou non. Si elle n'est pas acceptable, il devra s'efforcer de réduire l'incertitude associée aux paramètres identifiés comme ayant le plus grand impact sur l'indicateur financier choisi.

Coût évité en énergie de chauffage

Le coût évité en énergie de chauffage est automatiquement copié de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation du coût évité en énergie de chauffage. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation du coût évité en énergie de chauffage. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 et 50 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que le coût évité en énergie de chauffage pourrait prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à un coût évité en énergie de chauffage de 0,09 $/kWh indique que le coût évité en énergie peut prendre n'importe quelle valeur entre 0,081 $ et 0,099 $/kWh. Puisque la valeur estimée est de 0,09 $/kWh, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si le coût évité en énergie de chauffage est connu de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement sont automatiquement copiés de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation des coûts d'investissement. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation des coûts d'investissement. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 et 50 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que les coûts d'investissement pourraient prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à des coûts d'investissement de 30 000 $ indique que les coûts d'investissement peuvent prendre n'importe quelle valeur entre 27 000 $ et 33 000 $. Puisque la valeur estimée est de 30 000 $, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si les coûts d'investissement sont connus de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Frais annuels

Les frais annuels sont automatiquement copiés de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation des frais annuels. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation des frais annuels. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 et 50 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que les frais annuels pourraient prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à des frais annuels de 800 $ indique que les frais annuels peuvent prendre n'importe quelle valeur entre 720 $ et 880 $. Puisque la valeur estimée est de 800 $, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si les frais annuels sont connus de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Ratio d'endettement

Le ratio d'endettement est automatiquement copié de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation du ratio d'endettement. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation du ratio d'endettement. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 % et la plus petite valeur exprimée en pourcentage qui garde le ratio d'endettement dans l'intervalle 0 à 100 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que le ratio d'endettement pourrait prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à un ratio d'endettement de 70 % indique que le ratio d'endettement peut prendre n'importe quelle valeur entre 63 et 77 %. Puisque la valeur estimée est de 70 %, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si le ratio d'endettement est connu de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Taux d'intérêt sur la dette

Le taux d'intérêt sur la dette est automatiquement copié de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation du taux d'intérêt sur la dette. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation du taux d'intérêt sur la dette. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 et 50 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que ce taux d'intérêt pourrait prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à un taux d'intérêt sur la dette de 20 % indique que le taux d'intérêt peut prendre n'importe quelle valeur entre 18 et 22 %. Puisque la valeur estimée est de 20 %, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si le taux d'intérêt sur la dette est connu de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Durée de l'emprunt

La durée de l'emprunt est automatiquement copiée de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation de la durée de l'emprunt. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation de la durée de l'emprunt. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 % et la plus petite valeur exprimée en pourcentage qui garde la durée de l'emprunt dans l'intervalle de 1 an jusqu'à la durée de vie du projet. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que la durée de l'emprunt pourrait prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à une durée de l'emprunt de 20 ans indique que la durée de l'emprunt peut prendre n'importe quelle valeur entre 18 et 22 ans. Puisque la valeur estimée est de 20 ans, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si la durée de l'emprunt est connue de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Crédit pour réduction d'émissions de GES

Le crédit pour la réduction d'émissions de GES est automatiquement copié de la feuille de calcul *Sommaire financier* dans la feuille de calcul *Sensibilité*.

L'utilisateur entre la plage de variation du crédit pour la réduction d'émissions de GES. La plage, exprimée en pourcentage, représente l'incertitude associée à l'estimation du crédit pour la réduction d'émissions de GES. Plus le pourcentage est élevé, plus l'incertitude est grande. La plage d'incertitude entrée par l'utilisateur doit être comprise entre 0 et 50 %. Cette plage délimite l'intervalle des valeurs possibles que le crédit pour la réduction d'émissions de GES pourrait prendre.

Par exemple : une plage d'incertitude de 10 % associée à un crédit pour la réduction d'émissions de GES 5 $\$/t_{CO2}$ indique que le crédit peut prendre n'importe quelle valeur entre 4,5 $ et 5,5 $\$/t_{CO2}$. Puisque la valeur estimée est de 5 $\$/t_{CO2}$, cette valeur sera considérée comme étant la plus probable dans l'analyse de risque, alors que les valeurs minimales et maximales seront considérées comme étant les moins probables, le tout selon une distribution normale.

Si le crédit pour la réduction d'émissions de GES est connu de façon précise par l'utilisateur (aucune incertitude), alors celui-ci devrait entrer une plage de 0 %.

Cliquer ici pour calculer l'analyse de risque

Le bouton « Cliquer ici pour calculer l'analyse de risque » permet de mettre à jour les calculs de l'analyse de risque avec les paramètres entrés par l'utilisateur. Le fait de cliquer sur ce bouton démarre une simulation de type Monte Carlo sur la base de 500 combinaisons possibles des variables d'entrée pour calculer 500 valeurs de l'indicateur financier sélectionné. Le graphique d'impact, la médiane, les minimum et maximum de l'intervalle de confiance ainsi que le graphique de distribution sont calculés à partir de ces résultats et sont actualisés à chaque fois que l'utilisateur clique sur le bouton « Cliquer ici pour calculer l'analyse de risque ».

Les calculs reliés à l'analyse de risque peuvent prendre jusqu'à 1 minute à s'effectuer selon la version d'Excel et la vitesse de l'ordinateur. Lorsque l'analyse de risque est à jour, le bouton disparaît.

Si l'utilisateur modifie un paramètre ou s'il navigue dans une autre feuille de calcul du modèle, le bouton réapparaîtra. L'utilisateur pourra alors cliquer de nouveau sur celui-ci de façon à ce que l'analyse de risque soit actualisée et qu'elle reflète les modifications apportées.

Graphique d'impact

Le graphique d'impact présente la contribution relative des incertitudes associées aux paramètres clés sur la variabilité de l'indicateur financier sélectionné. L'axe des X au bas du graphique n'a pas d'unités puisque l'on y représente seulement les indices du poids relatif de la contribution de chaque paramètre clés.

Pour un paramètre donné, plus la barre horizontale est longue, plus l'impact de ce paramètre sur la variabilité de l'indicateur financier est grand.

Les paramètres entrés sont automatiquement triés selon leur impact sur l'indicateur financier. Le paramètre situé en haut du graphique (axe des Y) est celui qui contribue le plus aux variations de l'indicateur financier, alors que celui situé en bas du graphique est celui qui y contribue le moins. Ce graphique de type « tornade » peut aider l'utilisateur à identifier les paramètres qui méritent une analyse plus approfondie.

La direction de la barre horizontale (positive ou négative) indique la façon dont l'indicateur financier varie en fonction du paramètre en question. La relation entre les deux est positive lorsqu'une augmentation de la valeur du paramètre entraîne l'augmentation de la valeur de l'indicateur financier. Par exemple, il y a habituellement une relation négative liant les coûts d'investissement et la valeur actualisée nette (VAN), car une diminution des coûts d'investissement entraîne une augmentation de la VAN.

Dans certains cas, les données sont insuffisantes pour afficher correctement le graphique. Par exemple, lorsque l'année de flux monétaire nul est atteinte immédiatement, le résultat n'est pas une valeur numérique et les valeurs dans le graphique ne peuvent être affichées.

Médiane

Le modèle calcule la médiane de l'indicateur financier. La médiane de l'indicateur correspond au 50e centile des 500 valeurs générées par la simulation Monte Carlo. La valeur de la médiane sera généralement proche de la valeur de l'indicateur financier calculée dans la feuille de calcul *Sommaire financier*.

Niveau de risque

L'utilisateur sélectionne à partir de la liste déroulante le niveau de risque acceptable pour l'indicateur financier évalué. Les choix sont : 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 25 %.

Le niveau de risque permet d'établir un intervalle de confiance (défini par des limites maximales et minimales) à l'intérieur duquel devrait se trouver l'indicateur financier. En fait, le niveau de risque représente la probabilité que l'indicateur financier se retrouve à l'extérieur de cet intervalle de confiance.

Les limites de l'intervalle de confiance sont calculées automatiquement en fonction de la médiane et du niveau de risque et sont présentées en tant que « Minimum de l'intervalle de confiance » et « Maximum de l'intervalle de confiance ».

Il est recommandé de choisir un niveau de risque de 5 ou 10 % puisque ces valeurs sont typiques pour les analyses de risque.

Minimum de l'intervalle de confiance

Le modèle calcule le « Minimum de l'intervalle de confiance » qui est la limite inférieure de l'intervalle de confiance à l'intérieur duquel devrait se trouver l'indicateur financier. Le minimum est le centile de la distribution de l'indicateur financier correspondant à la moitié du niveau de risque sélectionné. Par exemple : pour un minimum de l'intervalle de confiance de 15 % dans le cas du TRI, un niveau de risque de 10 % implique que 5 % (la moitié du niveau de risque) des valeurs possibles de TRI sont inférieures à 15 %.

Maximum de l'intervalle de confiance

Le modèle calcule le « Maximum de l'intervalle de confiance » qui est la limite supérieure de l'intervalle de confiance à l'intérieur duquel devrait se trouver l'indicateur financier. Le maximum est le centile de la distribution de l'indicateur financier correspondant à 100 % moins la moitié du niveau de risque. Par exemple : pour un maximum de l'intervalle de confiance de 25 % dans le cas du TRI, un niveau de risque de 10 % implique que 95 % des valeurs possibles de TRI sont inférieures à 25 %.

Graphique de distribution

Cet histogramme présente la distribution des valeurs possibles pour l'indicateur financier résultant de la simulation Monte Carlo. La hauteur des colonnes représente la fréquence (%) à laquelle on retrouve les valeurs comprises dans la plage définie par la largeur de chaque colonne. La valeur au centre de la plage définie par chaque colonne est affichée sur l'axe des X.

En observant la distribution de l'indicateur financier, l'utilisateur peut rapidement évaluer sa variabilité.

Dans certains cas, les données sont insuffisantes pour afficher correctement le graphique. Par exemple, lorsque l'année de flux monétaire nul est atteinte immédiatement, le résultat n'est pas une valeur numérique et les valeurs dans le graphique ne peuvent être affichées.

Graphique de l'intervalle de confiance

Le graphique de l'intervalle de confiance décrit les valeurs minimale et maximale de l'indicateur financier auxquelles on peut s'attendre en fonction du niveau de risque choisi.

Données de produits

Certaines des exigences du modèle en matière de données sur les produits sont présentées dans la base de données de produits en ligne de RETScreen. Pour savoir comment accéder à la base de données de produits en ligne, l'utilisateur peut consulter la section « Accès aux données et à l'aide ». Cette base de données donne des renseignements sur l'équipement associé au projet de pompe à chaleur géothermique. Depuis la boîte de dialogue de la base de données de produits en ligne RETScreen, l'utilisateur peut obtenir des données sur le rendement et les spécifications des produits, ainsi que des renseignements sur les fournisseurs de ces produits.

La routine de trie de la base de données débute en utilisant le « Critère de conception » sélectionné par l'utilisateur dans la feuille de calcul *Modèle énergétique*. À partir de la boîte de dialogue l'utilisateur sélectionne la plage de COP de la pompe à chaleur, suivie de la région, du fournisseur et du modèle. Les données peuvent être collées depuis la boîte de dialogue dans les feuilles de calcul grâce au bouton « Coller les données ». Seules les données en **gras** sont collées dans les feuilles de calcul; toutes les autres données sont fournies à titre de référence seulement. Les données saisies à l'aide de la base de données de produits en ligne RETScreen peuvent être **modifiées**; c.-à-d. que l'utilisateur peut utiliser d'autres données et saisir manuellement des valeurs dans les feuilles de calcul. Les « Autres informations » tels le poids et/ou les dimensions du produit sont aussi fournies afin d'aider l'utilisateur à préparer l'étude. La base de données contient un lien vers les sites Web de certains fournisseurs de produits. Dans le cas où le lien du site Web ne pourrait être activé, l'utilisateur devrait essayer avec un autre fureteur ou tenter de communiquer avec le fournisseur par d'autres moyens (courrier électronique, etc.).

Note : Pour accéder à la liste complète des fournisseurs contenus dans la base de données de produits, et à leurs coordonnées, l'utilisateur doit choisir l'option « Toutes » à partir de la liste déroulante « Plage de COP de PAC » de la boîte de dialogue.

La base de données de produits est diffusée à des fins de renseignements et ne représente pas nécessairement le point de vue du Gouvernement du Canada ni ne constitue une quelconque acceptation d'un produit commercial ou d'une personne en particulier. Ni le Canada, ni ses ministres, représentants, employés ou agents n'assurent une garantie à l'égard de cette base de données ou n'assument une quelconque responsabilité à propos de celle-ci.

Les fabricants de produits qui aimeraient voir les renseignements sur leurs produits inscrits dans la base de données de produits doivent contacter RETScreen® International à :

RETScreen® International
Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - Varennes
Ressources naturelles Canada
1615, boul. Lionel-Boulet, C.P. 4800
Varennes, QC, CANADA J3X 1S6

Tél : +1-450-652-4621
Fax : +1-450-652-5177
Courriel : rets@rncan.gc.ca

Données météorologiques

Cette base de données contient certaines des données météorologiques nécessaires au modèle. Pour savoir comment accéder à la base de données météorologiques en ligne RETScreen l'utilisateur peut consulter la section « Accès aux données et à l'aide ». Pendant l'exécution du logiciel, l'utilisateur peut obtenir des données météorologiques en provenance de **stations météorologiques de surveillance au sol**, et/ou **données-satellite de la NASA**. Les données de stations météorologiques de surveillance au sol sont obtenues en choisissant l'emplacement spécifique de la station, à partir de la boîte de dialogue de la base de données météorologiques en ligne RETScreen. Les données-satellite sont obtenues en utilisant le lien au site Web de la NASA aussi accessible à partir de la boîte de dialogue.

Données de stations météorologiques de surveillance au sol

Depuis la boîte de dialogue, l'utilisateur choisit une région, puis un pays, puis une sous-région (provinces au Canada, états aux États-Unis et n/d pour les autres pays) et finalement l'emplacement d'une station météorologique correspondant habituellement au nom d'une ville dans le pays choisi. Les données peuvent être collées depuis la boîte de dialogue dans les feuilles de calcul grâce au bouton « Coller les données ». Seules les données en **gras** sont collées dans les feuilles de calcul; toutes les autres données sont fournies à titre de référence seulement. Les données saisies à l'aide de la base de données météorologiques en ligne RETScreen peuvent être **modifiées**; c.-à-d. que l'utilisateur peut utiliser d'autres données et saisir manuellement des valeurs dans les feuilles de calcul. L'utilisateur peut également utiliser les données-satellite de la NASA, en particulier lorsque le projet se trouve à un emplacement distant des stations météorologiques données.

Données-satellite mondiales de la NASA

Un lien pour le site Web « NASA Surface meteorology and Solar Energy Data Set » est disponible à partir de la boîte de dialogue de la base de données météorologiques en ligne. On retrouve sur ce site des données météorologiques et des données sur l'énergie solaire. L'utilisateur peut sélectionner les données requises pour le modèle en cliquant sur une région de la carte du monde affichée sur le site Web de la NASA. La zone sélectionnée est rétrécie à une « cellule » bornée par une latitude et une longitude spécifique. L'utilisateur peut ainsi simplement copier et coller ces données dans les feuilles de calcul de RETScreen ou encore entrer manuellement ces valeurs.

La NASA et le CETC - Varennes travaillent en coopération pour faciliter l'exploitation des données-satellite mondiales de la NASA avec RETScreen et développer une nouvelle base de données météorologiques globales (voir « Surface meteorology and Solar Energy Data Set » pour utiliser l'outil) pour RETScreen. Ces travaux, qui sont parrainés dans le cadre du « Earth Science Enterprise Program » de la NASA, sont menés au Langley Research Center de la NASA et au CETC - Varennes. Cette collaboration permet aux utilisateurs de RETScreen d'accéder (gratuitement) à des données-satellite comme le niveau d'ensoleillement de la surface terrestre, les températures mondiales et la vitesse des vents, simplement en cliquant sur les liens

incorporés au logiciel RETScreen ou au site Web de la NASA. Ces données, qui n'étaient disponibles que depuis un nombre limité de stations météorologiques de surveillance au sol, sont cruciales pour l'évaluation du potentiel énergétique d'un projet. L'utilisation des données-satellite se traduira par des réductions de coûts considérables pour les utilisateurs, de nouveaux débouchés pour l'industrie et la possibilité pour le gouvernement et l'industrie d'évaluer le potentiel des ressources énergétiques régionales.

Données de coûts

Des données sur les coûts typiques nécessaires à la préparation des études RETScreen peuvent être obtenues en consultant la base de données des coûts et le manuel en ligne RETScreen. Cette base de données est intégrée à la « colonne de droite » de la feuille de calcul *Analyse des coûts*. Les coûts sont fondés sur les tarifs en vigueur au Canada et l'année de référence 2000. L'utilisateur peut également créer sa propre base de données personnalisée.

Dans la feuille de calcul *Analyse des coûts*, l'utilisateur peut choisir différentes bases de référence pour l'aider à estimer les coûts d'implantation du projet. Il a ainsi la possibilité de modifier les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » en utilisant l'une des 3 options suivantes : « Canada - 2000 », « Aucun », « Deuxième devise », ou un choix de 8 options définies par l'utilisateur (« Entrée 1 », « Entrée 2 », etc.).

Si l'utilisateur choisit « Canada - 2000 » les plages de valeurs données dans les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » concernent des projets au Canada, avec des coûts en $ canadiens, valides en 2000.

Si l'utilisateur choisit « Aucun », les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » sont cachées. Cela permet d'alléger la présentation d'un rapport utilisant les feuilles de calcul RETScreen.

Si l'utilisateur choisit « Deuxième devise », deux nouvelles cellules d'entrée de données apparaissent à la ligne suivante : « Deuxième devise » et « Taux : 1re devise/2e devise ». De plus, les colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût » sont chacune remplacées par « % étranger » et « Montant étranger ». Cette option permet à l'utilisateur d'exprimer certains coûts du projet en une seconde devise, tenant ainsi compte des montants qui doivent être payés dans une devise autre que celle choisie pour l'analyse de projet. Bien noter que ces colonnes sont données à titre indicatif seulement et n'ont aucune incidence sur les calculs et l'analyse des autres feuilles de calcul.

Si l'utilisateur choisit « Entrée 1 » (ou un quelconque des 8 autres choix possibles), il peut entrer manuellement d'autres valeurs de quantités ou de coûts, spécifiques à la région d'implantation du projet, ou pour une autre année de référence des coûts. L'utilisateur peut ainsi personnaliser le contenu des colonnes « Plage/quantité » et « Plage/coût ». Au lieu d'entrer « Entrée 1 » l'utilisateur peut écrire ce qu'il veut (p. ex. Japon - 2001) pour décrire de nouvelles plages de coûts et de quantités. L'utilisateur peut aussi utiliser plusieurs plages de coûts et quantités dans un même projet (on peut en choisir jusqu'à 8 différentes), permettant d'évaluer en parallèle jusqu'à 8 scénarios différents de coûts et quantités qui peuvent être utilisés à titre de référence pour des analyses ultérieures avec RETScreen, créant ainsi une nouvelle base locale de données de référence.

Formation et aide

L'utilisateur peut obtenir l'information à jour concernant le cours de formation RETScreen à l'adresse Web suivante : www.retscreen.net/f/training/.

Conditions d'utilisation

Exonération et indemnisation

Le logiciel **RETScreen® International** est fourni uniquement à des fins d'examen. Ni Ressources naturelles Canada, ni son ministre, ses cadres, ses employés ou ses agents ne font d'allégations ni ne donnent de garanties, explicites ou implicites, découlant de la loi ou autres, incluant mais sans s'y limiter des garanties de commerciabilité ou d'adéquation à un objectif particulier, ou à l'effet que l'utilisation du logiciel n'empiète pas sur les droits de propriété intellectuelle de tierces parties. En aucun cas, Ressources naturelles Canada, ni son ministre, ni ses représentants, agents ou employés n'ont d'obligations ni de responsabilités quant à des torts, des pertes de revenus ou de profits, ou des dommages indirects, particuliers, incidents ou consécutifs à l'utilisation faite du logiciel.

En échange du droit de charger, d'exécuter et d'utiliser **RETScreen® International**, l'utilisateur (détenteur de licence), garantira de toute responsabilité Ressources naturelles Canada (donneur de licence), ainsi que ses employés et agents, et sera responsable pour toutes revendications, demandes, pertes, coûts, y compris les coûts d'avocat et de client, dommages ou poursuites découlant de l'utilisation de RETScreen International par le détenteur de licence, ou liés à celle-ci ou occasionnés par elle. Le donneur de licence aura le droit de se défendre de toute action ou poursuite de ce genre en recourant aux services du procureur de son choix.

Droits d'auteur et marque de commerce

Le logiciel **RETScreen® International** d'analyse de projets sur les énergies propres, ainsi que le manuel et les bases de données qui l'accompagnent sont la propriété intellectuelle du ministère de Ressources naturelles Canada (1997-2005). Toute forme de reproduction est interdite à moins d'autorisation écrite préalable, que l'on peut obtenir auprès de :

RETScreen® International
Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - Varennes
Ressources naturelles Canada
1615, boul. Lionel-Boulet, C.P. 4800
Varennes, QC, CANADA J3X 1S6

Tél : +1-450-652-4621
Fax : +1-450-652-5177
Courriel : rets@nrcan.gc.ca

© Ministre de Ressources naturelles Canada 1997 - 2005.
RETSCREEN est une marque de commerce enregistrée du Ministre de Ressources naturelles Canada.

Contrat de licence

L'utilisation de **RETScreen® International** est sujette aux conditions détaillées dans le contrat de licence du logiciel RETScreen qui est disponible à l'adresse Web suivante : www.retscreen.net/licence.html.

L'usager est encouragé à s'inscrire correctement sur le site Web de RETScreen, de sorte que le Centre puisse périodiquement informer l'utilisateur des mises à jour du produit et rendre compte de l'utilisation globale de RETScreen.

Bibliographie

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, 1997.

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, 1995.

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment Volume, 1992.

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, 1985.

Chabot, B. Communication personnelle, 1999.

The Danish Energy Agency, Engerstatistics 1995, 1999.

Fenhann, J., Communication personnelle, janvier 2000.

Fenhann, J., Projections of Emissions of Greenhouse Gases, Ozone precursors and Sulphur Dioxide from Danish Sources until 2010, The Danish Energy Agency, décembre 1999.

Leng, G., RETScreen International : A Decision-Support and Capacity-Building Tool for Assessing Potential Renewable Energy Projects, UNEP Industry & Environment, 3rd Quarter, 2000.

Martinot, E. et McDoom, O., Promoting Energy Efficiency and Renewable Energy : GEF Climate Change Projects and Impacts, October 1999 Pre-Publication Draft, Global Environment Facility, 1999.

McRae, S.G., Practical Pedology : Studying Soils in the Field, Halstead Press, New York, 1988.

Means, R.S., Mechanical Cost Data, 21st Annual Edition, R.S. Means Company Inc., Kingston MA, 1998.

Sandor, R., Walsh, M. et Leblanc, A., Creating a Market for Carbon Emissions : Gas Industry Opportunities, publié dans Natural Gas, juin 1999.

Index

A

Accès aux données et à l'aide.....5, 10, 104, 105
Allocation du coût en capital 73
Amplitude annuelle des températures du sol ... 29
Analyse de risque sur 97
Analyse de sensibilité et de risque.....9, 95
Analyse de sensibilité sur 97
Analyse des coûts6, 9, 23, 24, 25, 39, 42, 54, 55, 57, 65, 66, 68, 69, 71, 74, 76, 77, 78, 107
Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) 83
Analyse d'impôt sur le revenu?..... 71
Analyse du sol et de l'hydrologie..... 46
Analyse financière 65, 78
Année de flux monétaire nul.....80, 96
Appels d'offres et contrats 52
Approbations et permis..... 49
Après impôt 82
Arpentage 50
Autres 48, 51, 52, 53, 57, 58, 60, 62, 104
Avant impôt..... 82

B

Bâtiment climatisé ? 12
Besoins en chauffage et en climatisation du bâtiment 29
Bibliographie 111
Bilan énergétique annuel 65
Boucle côté bâtiment 59
Brève description et organigramme..... 4

C

Calcul du coût de réduction de GES? 81
Capitaux propres investis..... 81
Caractéristiques du site.....10, 15, 26
Charge de calcul en chauffage.....11, 34, 36
Charge de calcul en climatisation.....11, 35, 37
Chauffage 14, 22, 23, 59
Chauffage d'appoint.....22, 59
Chauffage d'appoint et puits de chaleur supplémentaire 22
Climatisation.....14, 21, 24
Cliquer ici pour calculer l'analyse de risque95, 101
Cliquer ici pour calculer l'analyse de sensibilité95, 96
Code de couleur des cellules..... 5
Combustible/Électricité 63, 76
Conception du système..... 51
Conception préliminaire 47
Conditions d'utilisation..... 109
Configuration de l'échangeur souterrain..... 15
Congé fiscal disponible?..... 73
Contrat de licence 110
COP saisonnier du climatiseur.....13, 69, 77
COP saisonnier en chauffage.....23, 93
COP saisonnier en climatisation.....25, 93
COP standard de chauffage 19
COP standard de climatisation..... 19
Coût de réduction d'émissions de GES..... 81
Coût évité en énergie de chauffage.....67, 68, 97
Coûts de référence 6, 42, 43
Coûts d'investissement.....44, 71, 74, 98
Coûts d'investissement (crédits) 44
Coûts du projet et économies générées.....65, 74
Coûts périodiques (crédits).....63, 77
Crédit pour réduction de GES - durée du crédit77
Crédit pour réduction d'émissions de GES68, 100
Critère de conception.....14, 16, 20, 21, 104
Cumulatif..... 82

D

Débit d'eau maximum par puits 17
Débit nécessaire d'eau souterraine 17
Demande annuelle d'énergie en chauffage..35, 37
Demande annuelle d'énergie en climatisation36, 38
Dette du projet 81
Deuxième devise.....6, 42, 43, 44, 107
Développement.....41, 49, 52, 75
Devise.....6, 42, 44
Divers 60, 61, 75
Données de coûts..... 107
Données de produits 104
Données de stations météorologiques de surveillance au sol..... 105
Données météorologiques..... 105
Données-satellite mondiales de la NASA..... 105
Droits d'auteur et marque de commerce 109
Durée de l'emprunt 71, 100
Durée de vie du projet 70
Durée du congé fiscal 74
Durée du crédit pour réduction de GES..... 68

E

Écart moyen des températures quotidiennes en été .27
Échangeurs de chaleur 55
Économies annuelles sur la durée de vie 80

Économies ou revenus annuels 76
EER en unités impériales 25
Effectuer aussi l'analyse de risque? 95
Effectuer l'analyse sur 95, 96
Électricité 23, 24, 63, 66
Électricité consommée par la PAC 23, 24
Électricité requise 66
Encouragements/subventions 75
Énergie annuelle utile fournie 94
Énergie de chauffage 23, 66, 77
Énergie de chauffage évitée 66
Énergie de chauffage fournie 23, 66
Énergie de chauffage fournie par la PAC 23
Énergie de refroidissement 24, 66, 77
Énergie de refroidissement fournie 24, 66
Énergie de refroidissement fournie par la PAC 24
Énergie fournie par le chauffage d'appoint 23
Équipements énergétiques 53, 75
Estimation détaillée des coûts 47
Étude de faisabilité 44, 74
Évacuateur de chaleur additionnel 22, 59
Évacuateur de chaleur additionnel suggéré 22
Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation 10, 26
Exonération et indemnisation 109
Exploitation et entretien 61, 76

F

Facteur d'émissions de GES 90, 92, 93, 94
Facteur d'émissions de GES du cas de référence 94
Facteur d'émissions de GES du cas proposé 94
Facteur d'émissions du CO2, CH4 et N2O 87, 88, 90, 91, 93
Feuilles de calcul vierges (3) 9, 64
Financement du projet 50
Fluide caloporteur 55
Flux monétaires annuels 65, 82
Forage et remplissage 56
Formation 60, 108
Formation et aide 108
Frais annuels 61, 71, 76, 98
Frais annuels (crédits) 61
Frais annuels et dette 76
Frais imprévus 61, 62

G

Gains internes 33
Gestion du projet 50
Graphique de distribution 103
Graphique de l'intervalle de confiance 103
Graphique des flux monétaires cumulatifs .65, 82
Graphique d'impact 101

H

Hauteur de pompage 16

I

Importance des surfaces de fenêtres 32
Imprimer un fichier 8
Information disponible sur le bâtiment 28, 31, 34, 35, 36, 37, 38
Information générale 83, 84
Infrastructures connexes 58, 75
Ingénierie 51, 75
Inspection du site 45

L

Latitude du lieu du projet 28
Lieu du projet 10, 65, 84, 96
Longueur totale de forage 16
Longueur totale de la boucle 16
Longueur totale de tranchée 16

M

Main-d'oeuvre 62
Manufacturier de pompes à chaleur 19
Maximum de l'intervalle de confiance 102
Médiane 102
Méthode d'amortissement 72
Minimum de l'intervalle de confiance 102
Mode de production 86
Modèle de pompe à chaleur 19
Modèle énergétique 9, 10, 11, 26, 36, 38, 54, 56, 59, 63, 65, 66, 68, 84, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 104
Montant étranger 43, 44, 107

N

Nature du sol 10
Niveau de risque 102
Niveau d'humidité pendant la saison de climatisation 27
Niveau d'isolation thermique 32
Nom du projet 10, 65, 84, 95
Nombre d'étages 31
Nombre nécessaire de puits d'extraction d'eau 17

O

Options monétaires 6

Organigramme 4

P

Paiements de la dette 76, 81
Paiements de la dette - durée de l'emprunt 76
Paramètres du système 11
Paramètres financiers 65, 67
Période d'amortissement 73
Personnalisé 84, 86, 91
Pertes de transport et de distribution 85, 89
Plage de sensibilité 96
Pompe à chaleur 18, 20, 21, 39
Pompes à chaleur 53
Pompes de circulation 54
Pompes d'extraction 54
Potentiel de réchauffement planétaire des GES 84
Préparation du rapport 48
Prix de détail de l'électricité 68
Production annuelle d'énergie 22
Profil d'occupation du bâtiment 33
Profondeur de forage 17
Profondeur des mesures de la température du sol 29
Projet de pompes à chaleur géothermique 9
Proportion des modes 87
Proportion des sources d'énergie 90, 92
Puissance d'appoint suggérée en chauffage 22
Puissance nominale suggérée de chauffage 19
Puissance nominale suggérée de climatisation 21
Puissance souscrite supplémentaire 63, 66

R

Ratio avantages-coûts 80
Ratio d'endettement 70, 99
Recouvrement de la dette 82
Réduction annuelle d'émissions de GES 94
Réduction nette d'émissions de GES 67
Réduction nette d'émissions de GES - durée de vie du projet 67
Réduction nette d'émissions de GES - durée du crédit 67
Rendement de conversion 88, 89, 92, 93
Rendement moyen de la pompe à chaleur 18, 19, 23, 24
Rendement saisonnier du système de chauffage 12, 66
Report des pertes? 72
Réseau électrique de référence (niveau de référence) 83, 85
Retour simple 79

S

Sauvegarder un fichier 7
Seuil 96
Sommaire des réductions d'émissions de GES 83, 93
Sommaire financier 9, 65, 67, 74, 77, 82, 83, 84, 94, 97, 98, 99, 100, 102
Source d'énergie 12, 90, 92
Source d'énergie de chauffage 12
Standard 15, 18, 84
Station météorologique la plus proche du projet 26
Surface de planchers 31
Surface de terrain disponible 10
Surface typique nécessaire de terrain 10, 15
Surveillance des travaux 52
Système CVAC de référence 12
Système de chauffage et de climatisation de référence 83, 90, 94
Système de chauffage et de climatisation proposé (projet) 92
Système d'échange géothermique 13, 19, 21

T

Taux d'actualisation 70
Taux d'amortissement 73
Taux d'imposition sur le revenu 71
Taux d'indexation de l'énergie 69
Taux d'indexation du crédit pour GES 68
Taux d'inflation 69
Taux d'intérêt sur la dette 70, 99
Taxes foncières et assurances 61
Température extérieure de calcul en chauffage 26, 34, 36
Température extérieure de calcul en climatisation .27, 35, 37
Température moyenne annuelle du sol 28
Travaux de terrassement 56
TRI et RI après impôt 96, 97
Tuyaux de l'échangeur souterrain 57
Type d'analyse 39, 40, 84, 86
Type de bâtiment 30, 31
Type de fondation 34
Type de système 14

U

Unités, symboles et préfixes 7
Utiliser la feuille Analyse des GES? 84
Utiliser la feuille d'analyse de sensibilité? 95

V

Valeur actualisée nette (VAN)..... 80
Valeur résiduelle - Coût/Crédit..... 78
Valeur résiduelle du projet.....64, 72
Valves et raccords côté sol 58
Voyages et hébergement.....45, 47, 48, 51, 62